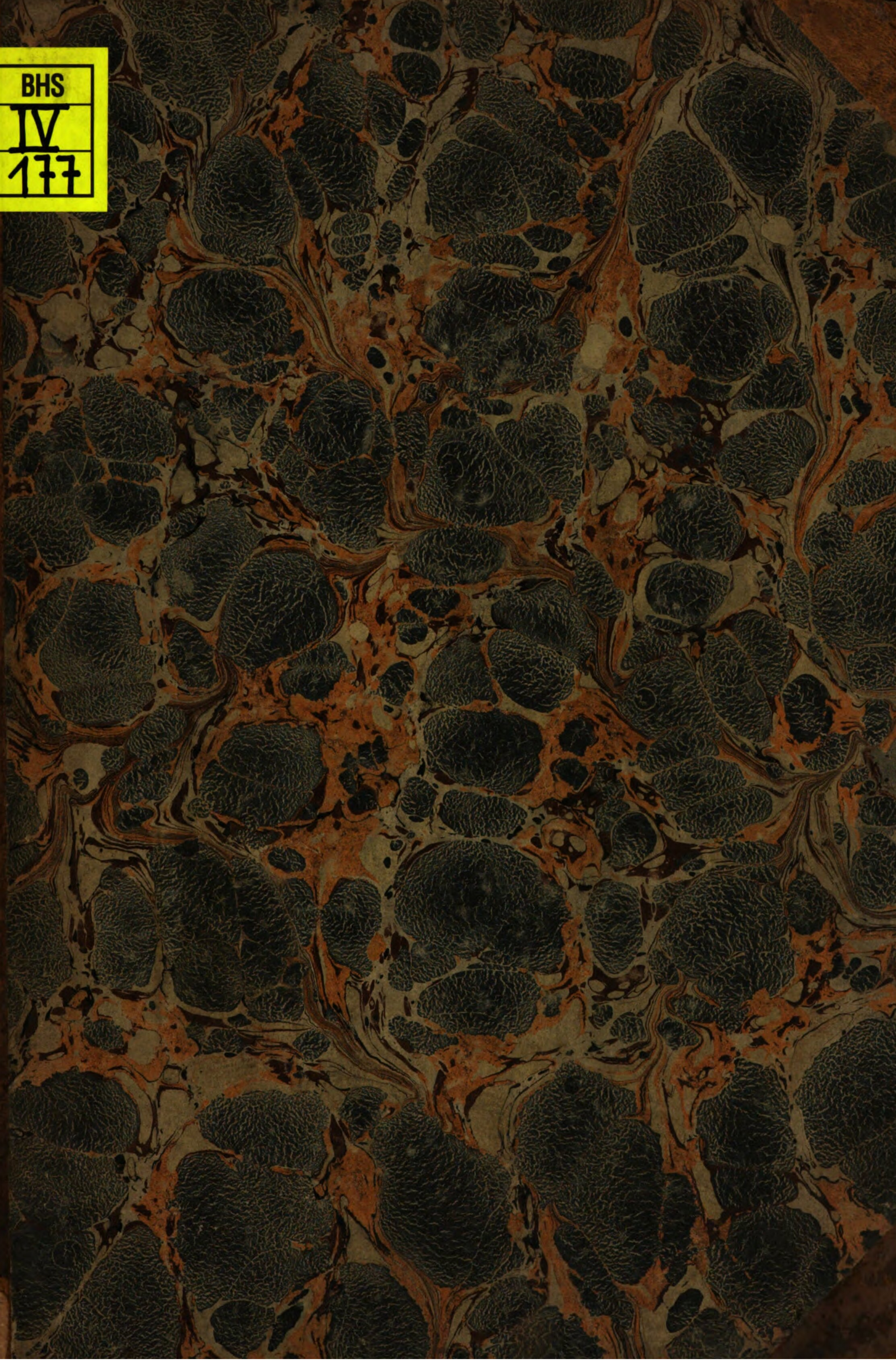


BHS

IV

177



Nº 90.

Nº 90.



BHS IV 177

THEORIE
DER
BRÜCKEN-BÖGEN

UND
VORSCHLÄGE ZU EISERNEN BRÜCKEN
IN IEDER BELIEBIGEN GRÖSSE

VON
GEORG REICHENBACH,

Königlich - Baierischem Salinen-Rathe, der Königlichen Akademie der Wissenschaften
in München und der Akademie der Wissenschaften zu Padua Mitgliede.

Mit fünf Kupfern.

MÜNCHEN,
Bey Ios. Lindauer, 1811.

THE ORAL

BRECKEN BOG

VORSTELUNG

Bayerische
Staatsbibliothek
München

SEINER EXCELLENZ

DEM HOCHGEBOHRNEN HERRN

MAXIMILIAN IOSEPH

GRAFEN VON MONTGELAS,

KÖNIGLICH-BAIERISCHEN DIRIGIRENDEN GEHEIMEN STAATS-UND
CONFERENZ-MINISTER DER AUSWÄRTIGEN UND INNEREN ANGE-
LEGENHEITEN, DANN DES MINISTERIUMS DER FINANZEN, GROS-
KREUZ UND GROSKANZLER DER KÖNIGLICHEN ORDEN DES HEIL.
HUBERT UND DER BAIERISCHEN KRONE, GROSKREUZ DER KAI-
SERL. FRANZÖSISCHEN EHRENLEGION UND DES KÖNIGLICH-
SÄCHSISCHEN ORDENS DER GRÜNEN KRONE ETC. ETC.

widmet

diese A b h a n d l u n g

a l s e i n e n B e w e i s

seiner unbegrenzten und schuldigsten Ehrfurcht

der Verfasser.

V o r r e d e.

Der Brückenbau ist unstreitig ein Gegenstand, welcher alle Aufmerksamkeit verdienet, und jede Bemühung zur Verbesserung desselben muß willkommen seyn; weil gute und vorzüglich dauerhafte Brücken allgemein nützlich sind.

Ich betrachte den Brückenbau als einen Zweig der ausübenden Mechanik: der mögliche Vorwurf, als sey ich durch diese Untersuchung aus meinem Pfade gewichen, kann mich also auf keine Weise treffen.

Von jeher schon war die Betrachtung schöner Brücken für mich ein Lieblings-Gegenstand, und ich habe in meinen Nebenstunden manchmal darüber nachgedacht, wie und aus welchem Material die dauerhaftesten und zugleich grössten Brücken-Bögen (als Hauptbedingungen guter Brücken) zu einem mässigen Preis errichtet werden könnten.

Die Wahl der Materialien zu dauerhaften Brücken, im engsten Verstande, ist nicht sehr mannigfaltig; denn ich kann mir nur Stein oder Eisen gedenken, aus welchen dauerhafte, so zu sagen der Ewigkeit trozende Brücken erbauet werden können, und die, wenn übrigens ihre Anlage so beschaffen ist, daß kein anderer Zufall ihre Zerstörung möglich macht, als dauernde Monumente zu betrachten sind.

Massive steinerne Haupt-Brücken sind gewöhnlich zu kostspielig, als daß man ihnen eine ausgedehntere Anwendbarkeit zugestehen könnte: das

schlimmste dabey ist, dafs ihre Bogen-Weiten zu sehr beschränkt sind, wodurch man bey längern Brücken genöthiget wird, viele Brücken-Pfeiler in dem Strome anzulegen, welche die Kostspieligkeit vermehren, den ruhigen Lauf der Ströme hindern, und das Wasser, bey Anschwellungen der Flüsse, zurückstauen, welches Inundationen verursacht, und, besonders bey Eisstöfsen, den Brücken selbst gefährlich wird.

Die bisher bekannten und ausgeführten eisernen Brücken sind noch kostspieliger, ihre Bogen-Weiten fast eben so beschränkt, und wegen ihrer besondern Construction bedarf man der besten und grössten Eisenwerke, welche im Stande sind, die Gufswaaren dazu zu liefern, die aber nur selten angetroffen werden. Ursachen genug, warum die besten unter allen, die eisernen Brücken, noch nicht ausgebreiteter sind, und bis jezt vorzüglich nur in solchen Ländern existiren, welche mit grossen Eisen-Schmelzen versehen sind,

wo das Material selbst sowohl, als der Transport wohlfeil ist. — Wäre nun eine Construction von eisernen Brücken denkbar, deren Bogen-Weite so zu sagen unbeschränkt ist, deren Gufswaaren in jeder Eisen-Schmelze produciert werden könnten, und welche, bey hinlänglicher Stärke, weit unter dem Preise der massiven steinernen, von gleicher Bogen-Länge und Breite, zu erbauen sind, und den Preis der neuesten und besten hölzernen Brücken nicht zu sehr, ja vielleicht unter manchen Umständen nur wenig übertreffen, so wäre der Zweck erreicht, und dem Brückenbaue in vielen, wenigstens den wichtigsten Fällen ein beträchtlicher Dienst erwiesen. Diefs ist das Ziel, worauf ich hingearbeitet habe *).

*) Es ist bereits anderthalb Jahre, daß ich diese Abhandlung schrieb, und die Zeichnungen zum Stich gab; allein andere wichtigere Beschäftigungen verhinderten den Kupferstecher, Hrn. Schramm, an der Vollendung, wodurch die Herausgabe solange verzögert wurde. In

Wenn meine Bemühungen auch die Sache nicht ganz erschöpfen sollten, so schmeichle ich mir doch, Anlaß zu fernerem Nachdenken über diesen wichtigen Gegenstand, und zu einem endlich ganz glüklichen Resultat, gegeben zu haben.

Man könnte mir allerdings den Vorwurf machen, daß ich die Foderungen in der nöthigen Stärke meiner Brücken übertreibe, und dadurch ihre Anlags-Kosten unnöthig vermehre, weil ich bey der Berechnung ihres Tragvermögens überall das kleinste annehme, die eigne Masse der Brücken, welche sich ebenfalls einem Einbruche widersezet, gar nicht in Anschlag bringe, und noch über alles dieses ein die gröfst möglichst vorkommende Last zehnfach übertreffendes Tragver-

der Zwischenzeit machte ich kein besonderes Geheimniß aus der längst vorher gehaltenen Idee, mittelst zusammengeschraubter eiserner Röhren Brücken-Bögen zu construiren.

**

mögen verlange. Allein, so sehr ich zur ausgedehnten Anwendbarkeit meiner Vorschläge hoffe, daß dieser Vorwurf gegründet ist, so konnte ich mich, ohne vorhergegangene entscheidende Versuche, doch nicht enthalten, die ersten Brücken, nach dieser Construction, so überwiegend stark in Vorschlag zu bringen, weil man bey einem so kostspieligen und öffentlichen Gegenstande alle Vorsicht anwenden muß, damit die ersten Hauptversuche nicht misslingen, und weil es in der Folge viel besser seyn wird, der Stärke, bis zu ihrem Minimum, nach und nach abzurechnen, als gezwungen zu seyn, sie zu vermehren, indem die ersten misslungenen Versuche gewöhnlich allen Muth zur weitem Verfolgung benehmen.

Ich bin weit entfernt, hier eine allgemeine Theorie über die Construction der Gewölbe zu liefern; denn diese ist schon bekannt, und die Curven, nach welchen Gewölbe in den verschiedenen Fällen gebauet

werden sollen, sind angegeben: meine hier vorgetragene Theorie beschränkt sich nur auf flache Kreisbögen, deren Theile einen ununterbrochenen Zusammenhang unter sich besitzen, mit welchem sie sich den darübergehenden Lasten widersezen.

Andere als Kreislinien kann ich zu meinen Brücken nicht brauchen; aber das beste dabey ist, dafs bey flachen Bögen (als die zu Brücken vorzüglichsten) die Kreislinie, die Kettenlinie, die Elipse, die Parabel etc. nicht sehr voneinander abweichen, und wenn ein solcher materieller Bogen nur einigermaßen eine Dicke hat, alle diese Linien innerhalb der Masse des Bogens selbst fallen, folglich die Sache eben so zu betrachten ist, als wenn ein und derselbe Bogen nach allen diesen zu Gewölben vorzüglichen Curven construirt wäre.

Uebrigens habe ich mich bemühet, den mathematischen Theil dieser Abhandlung so einfach, als

mir möglich war, vorzutragen, damit er auch von praktischen Männern, die es am meisten bedürfen, und die selten ganz ausgebildete Mathematiker sind, um so leichter verstanden werde.

Da die Eisengießereyen noch nicht überall so weit gediehen sind, daß sie die Brücken-Theile mit der erforderlichen Genauigkeit und Reinheit gießen können, so glaubte ich, die in dem Anhange beschriebene Formerey beyfügen zu müssen.

Der Verfasser.

THEORIE DER BRÜCKEN-BÖGEN

UND

VORSCHLÄGE ZU EISERNEN BRÜCKEN IN IEDER
BELIEBIGEN GRÖSSE.

1.

Bögen oder Gewölbe können auf zweyerley Art gedacht werden.

1. Als zusammengelegte Keile, welche sich, jeder an seine Nachbarn, und die letzten an die Widerlagen gestützt, alle, und ohne Bedingung eines andern Zusammenhanges, im Gleichgewichte halten; und

2. Bögen, deren Materiale sich selbst, wie bey obigen, im Gleichgewichte, oder beynahe im Gleichgewichte, hält, deren Theile aber überdieß noch einen eigenen Zusammenhang unter sich besitzen, so daß sie durch ihre ganze Länge als steife Körper betrachtet werden können.

2.

Wenn erstere, nebst der Tragung ihrer eigenen Masse auch noch, so wie es bey Brücken-Bögen der Fall ist, jeder darüber gehenden Last widerstehen sollen, so ist nothwendig, daß aus allen möglichen Positionen der Last gegen die Widerlagen hin gerade Li-

nien gezogen werden können, welche den Bogen nicht durchschneiden.

In Fig. I zeigt L verschiedene Positionen der Last, und die Linien Ac cB'' $A'd$ dB' $A'e$ eB etc. fallen alle innerhalb der Masse des Gewölbes, weshalb auch dieser Bogen, im Falle die Widerlager DE und FG nicht weichen, und der Bogen selbst aus unnachgiebigem Material gemacht ist, jeder darüber gehenden Last, auch ohne eigenen Zusammenhang seiner Theile, zu widerstehen vermag, weil der Last in allen Lagen directer Widerstand durch das Material des Bogens selbst geleistet wird.

Wird aber der Bogen, wie Fig. II von einigen der Linien durchschnitten, welche von den verschiedenen Positionen der Last auf die Widerlager DE und FG hin gezogen werden können, so widersteht er einer darübergehenden Last nur mittels seiner eigenen Schwere und der Höhe seiner Widerlager DE und FG . Sein Tragvermögen ist also begrenzt, und er muß, wenn die darübergehende Last groß genug ist, Ausbeugungen bekommen und zusammenstürzen. Es ist augenscheinlich, daß die Größe der Last, welche einen solchen Bogen eindrückt, jedesmal in einem gewissen zusammengesetzten Verhältnisse der Höhe seiner Widerlager und der Schwere des Bogens stehen muß; denn vor dem Einbruche nimmt diejenige Hälfte des Bogens, worauf sich die Last befindet, auf ihrem Widerlager den tiefsten, und die andere Hälfte den höchsten Stützpunkt an, und dadurch wird die zweyte Hälfte der ersten, samt der darauf befindlichen Last, nur bis auf gewisse Gränzen das Gleichgewicht halten können, und wenn durch Vermehrung der Last diese Gränze überschritten wird, so muß ein solcher aus unzusammenhängenden Theilen bestehender Bogen einstürzen.

Die Curve EIF , wornach der Bogen construit ist, mag übrigens beschaffen seyn, wie sie immer wolle, so hat zwar ihre Form

in soweit einen wesentlichen Einfluß, damit, besonders bey dünnen Bögen und niedern Widerlager, die Theile des Bogens unter sich im Gleichgewichte sind; allein zum Tragvermögen einer darübergehenden Last kann diese Form nichts beytragen, sondern hiezu kann nur Höhe der Widerlager und Schwere des Bogens selbst wirken. Denn denke man sich den Bogen sehr dünn, und seine Widerlager eben so nieder, seine Form aber wirklich von der Beschaffenheit, daß alle seine Theile vollkommen im Gleichgewichte sind, so muß er in Ermanglung alles eigenen Zusammenhanges von jeder darübergehenden geringen Last einstürzen, weil schon durch die geringste Last das Gleichgewicht gestört wird.

3.

Bögen der zweyten Gattung, deren Theile miteinander verbunden sind, und die ihrer ganzen Länge nach als steife Körper betrachtet werden können, haben, unter sonst gleichen Umständen, ein weit größeres Trag-Vermögen, als die erstern, denn sie widersezen sich einer darübergehenden Last nicht nur allein mittels ihrer Schwere und Höhe der Widerlager wie die erstern, sondern auch, und in den meisten Fällen vorzüglich, mittels ihrer eigenthümlichen Steifigkeit.

Je mehr Steifigkeit, Stärke oder Zusammenhang also bey solchen Bögen gewonnen wird, desto leichter, flacher und weiter können selbe mit gleichem Trag-Vermögen erbauet werden.

Wenn man also auf eine Construction wohlfeiler eiserner Brücken denken will, so kann dieses nur dadurch erreicht werden, daß man sucht Material zu ersparen, und Steifigkeit zu gewinnen.

Die Natur bedient sich in solchen Fällen der Röhren, und zeigt also, wie in vielen andern Fällen, selbst den Weg an, welchen man in Auflösung dieses Problems zu gehen hat.

Salz!
Da durch Röhren, auch nach der Theorie, mit wenig Material, nach allen Richtungen, die größte Steifigkeit zu erreichen ist, so können auch die stärksten und zugleich wohlfeilsten eisernen Brücken, mit den größt-möglichen Bogenweiten nur aus zusammengeschraubten eisernen Röhren construiert werden. *quod erit demonstrandum*

Ehe ich aber zur wirklichen Construction solcher Brücken-Bögen schreite, wird es nöthig seyn, einige Untersuchungen voraus zu schicken.

1. Ueber das Gleichgewicht der Bogen-Theile unter sich, ohne Rücksicht auf eigene Steifigkeit und darübergehende Lasten.

2. Ueber die Wirkung oder den Druck der Bögen auf ihre Widerlager.

3. Ueber die eigenthümliche Steifigkeit der Bögen selbst, und

4. Ueber die Wirkung, welche steife Bögen von darübergehenden Lasten erleiden, das Bestreben ihrer Ausbeugungen, und den Widerstand von Seiten der Steifigkeit gegen dieselbe, oder eigentlich das Trag-Vermögen solcher Bögen.

4.

Fig. 3 ECV sey die mittlere Linie eines materiellen aus Theilen zusammengesetzten Bogens nach einer Kreis-Linie, dessen Mittelpunkt in M ist.

C ist der Scheitel des Bogens, und jede zwey gleich lange und gleich schwere Bogentheile, wie Ca und Cq , Cb und Cr etc. --- CE und CV , werden in C allemal einen entgegengesetzten gleichen Druck ausüben, und in dieser Hinsicht immer im Gleichgewichte seyn.

CL sey eine Tangente zum Punkte C , und ea fb $g'c$ hd iE Tangenten zu den Punkten $abcdE$.

Man denke sich den halben Bogen CV ganz hinweg, und statt dessen eine Kraft W , in der Richtung der Tangente CL wirkend, welche den Bogen CE im Gleichgewichte hält. Wenn die Bogen-theile $Ca\ ab\ bc$ etc. keinen Zusammenhang unter sich haben, und angenommen wird, daß sich dieselben in $abcd$ etc. nur in solchen Flächen berühren, welche in der Richtung der Radien $aM\ bM$ etc. eine sehr kleine Ausdehnung haben, so ist zum Gleichgewichte dieser Bogen-theile erforderlich, daß die Kraft W im Scheitel C für jede Bogenlänge $Ca\ Cb\ Cc$ etc. --- CE einen constanten Werth behält.

Ich nehme an, die Schwerpunkte der Bögen $Ca\ Cb\ Cc$ etc. CE fallen in die aus den Durchschnittspunkten der beyden Tangenten $efghi$ auf ihre Sehnen senkrecht gezogenen Linien $el\ fm\ gn$ etc. ip ,

Der Winkel $CMa = aMb = bMc$ etc. sey $= \phi$, und das Gewicht der Bogen-theile $Ca = Q$, $ab = R$, $bc = S$, $cd = T$ etc. so ist für einen Bogen Ca , der seinen Stützpunkt in a hat.

$$W : Q = al : el = 1 : \text{Tang. } \phi$$

$$\text{mithin } W = \frac{Q}{\text{Tang. } \phi}$$

für einen Bogen Cb und den Stützpunkt in b

$$\text{ist } W : Q + R = 1 : \text{Tang. } 2\phi$$

$$\text{also } W = \frac{Q + R}{\text{Tang. } 2\phi}$$

für den Bogen Cc erhält man auf dieselbe Art

$$W = \frac{Q + R + S}{\text{Tang. } 3\phi} \text{ etc. etc.}$$

Daraus findet man

$$R = \left(\frac{\text{Tang. } 2\phi - \text{Tang. } \phi}{\text{Tang. } \phi} \right) Q$$

$$S = \left(\frac{\text{Tang. } 3\phi - \text{Tang. } 2\phi}{\text{Tang. } \phi} \right) Q$$

$$T = \left(\frac{\text{Tang. } 4\phi - \text{Tang. } 3\phi}{\text{Tang. } \phi} \right) Q \text{ etc. etc.}$$

Und für den n^{ten} . Bogentheil ist die Schwere ω .

$$\omega = \left(\frac{\text{Tang. } n\phi - \text{Tang. } (n-1)\phi}{\text{Tang. } \phi} \right) Q = \left(\frac{\cos. \phi}{\cos. n\phi \cos. (n-1)\phi} \right) Q.$$

Das zum Gleichgewicht nöthige Gesez der Schwere der aufeinander folgenden gleich langen Bogentheile aller Kreis-Bögen kann nun, aus dem angenommenen Winkel ϕ , leicht berechnet werden. Die Schwere Q des ersten Bogentheiles, zunächst am Scheitel, wird alsdann für jeden speciellen Fall die wirkliche Schwere der übrigen bestimmen. — Es ist nun noch dafür zu sorgen, daß die Schwerpunkte der Bögen $Ca Cb Cc$ etc. in die senkrechten Linien $el fm gn$ etc. fallen: allein wenn zur Bestimmung des Gesezes für die Schwere der aufeinander folgenden Bogentheile der Winkel ϕ klein genug angenommen wird, so daß die Bogentheile $Ca ab$ etc. als gerade Körper zu betrachten sind, deren Schwerpunkte in ihrer Mitte liegt, und $\text{Tang. } \frac{1}{2}\phi = \text{Sin. } \frac{1}{2}\phi$ gesetzt werden darf, so fällt auch allemal der Schwerpunkt eines jeden aus solchen Theilen zusammengereihten Bogens, z. B. Cd , um so näher an die senkrechte Linie ho , je kleiner der Winkel ϕ angenommen wurde.

Bey einem Versuch mit einem Bogen $Cd = 40^\circ$ und der Annahme $\phi = 5^\circ$ fand ich den Schwerpunkt in der senkrechten tv so, daß der Winkel $tMC = 19^\circ 58' 56''$ ist. Der Punkt t liegt also dem

Punkte h bey dieser Annahme schon sehr nahe, weil, wegen $dh = hC$ der Winkel $dMh = hMC = 20^\circ$ ziemlich wenig von obigem abweicht. Wir sehen hieraus, daß, für jeden praktischen Gebrauch, ϕ eben nicht nothwendig so sehr klein angenommen werden muß, und daß es für alle Fälle mehr als hinreichend sey, wenn man zur Bestimmung des Gesezes der aufeinander folgenden Bogentheile $\phi = 1^\circ$ annimmt, weil die Theile eines materiellen Bogens sich nie in solchen Flächen berühren, die in der Richtung der Radien gar keine Ausdehnung haben.

Je breiter das Auflager der Bogentheile unter sich und des ganzen Bogens auf dem Widerlager in der Richtung der Radien ist, oder je weniger Grade der ganze Bogen selbst hat, desto weniger Rücksicht darf auch auf die gesezmäßige Schwere der aneinander gereihten Bogentheile genommen werden, so zwar, daß sogar ein durch seine ganze Länge gleichförmig schwerer Bogen von 90° gar leicht bestehen kann, wenn er nur Dicke genug hat, ohnerachtet in der Formel des allgemeinen Gliedes $\omega = \left(\frac{\cos. \phi}{\cos. n\phi \cos. (n-1)\phi} \right) Q$, für $n\phi = 90^\circ$, $\omega = \infty$ werden müßte; denn letzteres ist nur der Fall, wenn der Bogen schwer und ohne alle Dicke wäre.

5.

Der Winkel $dMC = hdo$ eines jeden beliebigen Bogens Cd Fig. 3 sey $= \theta$, und die ganze Schwere des Bogens $= S$, so ist nach N^{ro}. 4 der Druck im Scheitel $W = \frac{S}{\text{Tang. } \theta}$. In dem Punkte h für den Bogen Cd durchschneiden sich also zwey Kräfte, nämlich die Schwere S des Bogens in der senkrechten ho , und der Druck W im Scheitel in der horizontalen hk , aus welchen die dritte Kraft in der

Richtung der Tangente hd auf das Widerlager d entsteht. Nenne ich diese Kraft $= R$, so ist $R : S = hd : ho = 1 : \sin. \theta$,

$$\text{also } R = \frac{S}{\sin. \theta}.$$

Der auf das Widerlager senkrecht wirkende Theil dieses Druckes ist $kd = ho = S$, und derjenige Theil davon, welcher strebt, das Widerlager in horizontaler Richtung nach der Seite zu schieben, ist $do = hk = W = \frac{S}{\text{Tang. } \theta}$. Der senkrechte Druck auf das Widerlager, eines jeden Bogens, ist also allemal der Schwere des Bogens selbst, und der horizontale dem Druck, den er im Scheitel ausübt, gleich.

6.

Um zu untersuchen, ob ein gemauertes oder aus Theilen zusammengelegtes Gewölbe bestehen kann, darf nur der Schwerpunkt F der Bögen $ABCD$ (Fig. M und N) ausgemittelt, die horizontale Tangente AS zum Punkte A , und durch den Schwerpunkt F die senkrechte Linie FH , endlich die Linie CH gezogen werden.

Durchschneidet diese Linie CH den innern Rand des Gewölbes, (wie Fig. N) so kann dieses Gewölbe nicht bestehen, weil es bey L eine Ausbeugung bekommt, und durch seine eigene Schwere eingedrückt wird. Liegt aber die Linie CH aufserhalb dem innern Rand BOD (Fig. M), so wird sich ein solches Gewölbe allemal selbst tragen, und die nöthige Kraft, um es einzudrücken, wird um so größer seyn müssen, je weiter die Linie CH von dem nächsten Punkte O des innern Randes BOD entfernt ist.

Wenn

Wenn die Linie CH eine Tangente zum innern Bogen BOD wird, so ist das Gewölbe gerade im Gleichgewichte, und der geringste Druck an irgend einen Punkt wird es einbrechen. Die zu solchem Gleichgewichte nöthige Dicke ab eines gleichförmig schweren Kreis-Gewölbes sey $=m$, der Radius $AE=R$, und die Länge des Bogens, vom Scheitel A angefangen, $=\phi^\circ$, so findet man durch Berechnung für $\phi=25^\circ$ $m=\frac{1}{10000}R$, für $\phi=40^\circ$ $m=\frac{1.2}{10000}R$, für $\phi=60^\circ$ $m=\frac{1.0000}{10000}R$, und für $\phi=90^\circ$ $m=\frac{6.82}{10000}R$, beynahe.

Wir sehen hieraus, daß erst nach 40 Grad die zum Gleichgewichte nöthige Dicke, gleichförmig schwerer Kreis-Gewölbe, anfängt bedeutend zu werden, und daß es bey Brücken-Bögen, die gewöhnlich unter 25° Länge haben, eben nicht nöthig sey, das Gesetz der Schwere der aufeinander folgenden Bogentheile (N^o.4) so ängstlich zu befolgen, weil immer die in Praxi vorkommende geringste Bogen-Dicke jene zum Gleichgewichte nöthige wenigstens hundertmal übertrifft.

7.

Das Zerbrechungs-Moment, oder der Ausdruck der Steifigkeit eines Körpers, ist das Product aus dem Hebelsarme und dem Gewichte durch welche ein steifer Körper entweder zerbrochen gebogen, oder, der Absicht zu welcher ein Körper verwendet werden soll zuwider, gefedert wird, und kann durch Versuche auf folgende Art gefunden werden.

Man verfertige eine, der Stärke der zu zerbrechenden Körper weit überwiegend starke Grundlage AB Fig. 6.

Auf dieser Grundlage ist der mit Bügen versehene Pfosten C , welcher bey D den Ruhepunkt bildet.

Die eisernen Bänder cd und ab , welche bey ihren obern Lappen a und c mit Steklöchern und Steknägeln versehen sind, umfassen sowohl die Grundlage AB als den zu brechenden Körper EFG .

Ein eiserner, der ganzen Vorrichtung proportionirt starker, Hebel efg hat seinen Drehpunkt in e , und die Stütze dieses Drehpunktes ist mit der Grundlage AB verbunden.

An dem andern Punkte f dieses Hebels ist das, bey h ebenfalls mit Steklöchern versehene, eiserne Band fh angebracht, und das Gewicht Q läßt sich längs dem Hebelsarme fg nach Erforderniß bewegen. Die Drehpunkte e und f sind von Stahl und nach Art der Waagschneiden zugefeilt. Der zu zerbrechende Körper EG wird nun in diese Vorrichtung gelegt, der Nagel bey G so gesteckt, daß der Körper die rechte Lage bekömmt, der Hebel efg bey g aufgehoben, und der Steknagel bey F nahe ober dem Körper eingeschoben. Nun wird das Gewicht Q so weit gegen g gerückt, bis der Körper in DH entweder abbricht, oder sich so beugt, daß das Gewicht Q mit dem Hebelsarme efg auf die Grundlage AB frey herunter sinkt.

Wollte man nun seine Steifigkeit vor dem erfolgten Bruche noch weiter untersuchen, so wird, in der lezt verlassenen Lage, der Steknagel bey E , nöthigen Falls mit Unterlagen im Falle gerade kein Loch zutrifft, nahe ober dem Körper eingeschoben, wodurch er also in seiner gezwungenen Lage verbleiben muß, das Gewicht Q gegen f gerückt, der Steknagel bey F nahe ober dem Körper entweder unterlegt oder anders gesteckt, und das Gewicht Q wieder neuerdings so lange gegen g geschoben, bis sich der Hebel abermals frey niederneigt, und den Körper entweder weiter beugt oder abbricht u. s. w.

Gesetzt nun in dem Augenblick des Brechens, Biegens, oder der, der Absicht zu welcher der Körper oder ein ähnlicher verwendet werden soll, nicht widersprechenden Elasticität, wäre die Entfernung des Gewichtes Q vom Ruhepunkte oder $ei = L$, $ef = l$, der Schwerpunkt des Hebels efg samt der Stange fh in m , so daß $me = r$, und das Gewicht des Hebels samt dem Eisen fh sey $= q$, so wird dadurch die Last Q' oder der Druck auf den Punkt F des Körpers EFG

$$Q' = \frac{QL + qr}{l}$$

Und wenn der Schwerpunkt vom Körper EFG in n und sein Gewicht G ist, so wird das Zerbrechungs-Moment oder der Ausdruck seiner Steifigkeit

$$W = pF \left(\frac{QL + qr}{l} \right) + pnG \text{ seyn.}$$

Hat man nun das Zerbrechungs-Moment W eines Körpers auf solche Art praktisch gefunden, so läßt sich daraus auf einen andern dickern oder dünnern Körper von gleicher Materie schließen. Nämlich, der Flächeninhalt der abgebrochenen Fläche DH des geprüften Körpers sey $= A$, der Schwerpunkt dieser Fläche in p , der Inhalt von der Durchschnits-Fläche mn eines andern Körpers IK sey M , ihr Schwerpunkt in q , und das Moment der Zerbrechung vom Körper IK werde durch W' bezeichnet, so ist

$$W : W' = A \cdot Dp : M \cdot nq$$

$$\text{und } W' = \frac{W \cdot M \cdot nq}{A \cdot Dp}.$$

Ich rathe aber nicht, mit dieser Formel zu weit zu gehen, und aus kleinen Versuchen unbedingt auf das Größte schließen zu

wollen, sondern die Versuche wenigstens in $\frac{1}{3}$ oder noch besser der Hälfte der natürlichen Grösse anzustellen, weil die Theorie mit der Erfahrung, in solchen Fällen, nicht gleiche Schritte hält.

8.

Um das Zerreißen der Metalle, oder die absolute Festigkeit ihres Zusammenhanges zu untersuchen, würde ich folgende einfache Methode vorschlagen, der ich mich selbst schon bey mancher Gelegenheit bedient habe.

Zwey starke eiserne Haken *ab* und *cd*, Fig. 7., in welche bey *b* und *c* Schraubenmuttern eingeschnitten sind, fassen mit diesen Muttern den zum Zerreißen zubereiteten Körper *ef*, welcher bey *e* und *f* mit demselben Gewinde versehen, und in seiner Mitte *gh* bis auf eine gewisse Dicke eingedreht ist, so daß *gh* die Zerreißungsfläche werden muß.

Nun hängt man den Hacken *ab* bey *a* in einen gut befestigten Kloben, und in den andern bey *d* eine Waagschale, auf welche nach und nach soviel Gewicht gelegt werden muß, bis der Körper in der Fläche *gh* abreißt, woraus alsdenn die absolute Festigkeit dieses Körpers, für eine Quadrat-Linie, einen Quadrat-Zoll etc. aus dem bekannten Durchmesser *gh* und dem aufgelegten Gewichte samt der Schale leicht zu berechnen seyn wird.

Bey diesen Versuchen darf, ohne beträchtlichen Fehler zu begehen, viel weiter als bey den Versuchen der Zerbrechung, aus dem Kleinern in das Größere geschlossen werden, jedoch sollen die Versuche nicht nach einem zu kleinen Maßstabe angestellet werden.

9.

Ich glaube nun, von dem Gleichgewichte der Bogen-Theile unter sich, dem Druck auf die Widerlager, und der eigenthümlichen Steifigkeit oder Stärke der Körper zu meiner Absicht genug erinnert

zu haben, und gehe jetzt zur Untersuchung der Wirkung über, welche eine über einen Bogen, der eigne Steifigkeit oder eigenen Zusammenhang besitzt, gehende Last in diesem Bogen hervorbringt.

Ich denke mir vorerst einen geraden Körper AB Fig. 4. von was immer für einem Material und Zusammenhange. C und D sind die Widerlager, so ist dieser Körper, wenn er gar keine Dicke cd hätte, als ein Gewölbe von unendlichem Radius zu betrachten, und er könnte in diesem Falle keiner darüber gehenden Last anders, als mit unendlich starkem Zusammenhange widerstehen. Da aber jeder Körper eine gewisse Dicke cd hat, so läßt sich allemal, innerhalb dieser Dicke, ein Gewölbe $Amn\omega B$ gedenken, welches einen bestimmten Radius hat.

Wenn nun bey einem solchen Körper die Widerlager, auch bey jeder denkbaren Kraft, gar nichts weichen, und die Härte des Materials vom Körper selbst so beschaffen ist, daß es durch keine Kraft zerdrückt werden kann, so könnte dieser Körper als ein Gewölbe betrachtet werden, welches, auch ohne seine eigene Steifigkeit in Anspruch zu nehmen, jede Last ertragen kann (N^{ro}. 2).

Da aber weder so feste Widerlager noch ein Material von solcher Eigenschaft gefunden wird, weil, wenn die Höhe cd , im Verhältniß gegen die Länge AB des Körpers, unbedeutend ist, die Kraft auf die Widerlager und das Bestreben den Körper in sich selbst zu zerdrücken, sehr groß wird, so wird in solchen Fällen gewöhnlich keine Rechnung auf den Widerstand des Gewölbes $Amn\omega B$ gemacht. Man betrachtet nur den verticalen Widerstand der Widerlager, und der Körper AB wird auf solche Art seiner eigenen Schwere nebst einer darüber gehenden Last nur mittels seines eigenthümlichen Zusammenhanges widerstehen können.

Ich setze, das Gewicht des Körpers sey $= M$, welches bey dem gleichförmig schweren Körper in seiner Mitte t wirkt, und eine

Last Q befinde sich in r , so ist es eben soviel, als wenn der Körper nur steif und ohne Schwere wäre, und es wirkte eine Last $M+Q$ auf dem Punkte E , welches der Schwerpunkt von beyden Lasten ist, so daß

$$Et \cdot M = Er \cdot Q$$

und $Et = \frac{Er \cdot Q}{M}$ ist.

pq ist nun als ein Hebel zu betrachten, und wenn ich den Druck auf p , von Seiten der Last $(M+Q)$ in E , $=V$ setze, so ist

$$qp : qE = (M+Q) : V$$

und $V = \frac{qE(M+Q)}{qp}$.

Und das Moment, den Körper in E abzubrechen, ist also, da der Hebelsarm, woran die Kraft V wirkt, pE ist,

$$V \cdot pE = \frac{qE(M+Q) \cdot pE}{qp}$$

es ist $qE = qt + tE$ und $pE = pt - tE = qt - tE$
also

$$V \cdot pE = \frac{(M+Q)(qt+tE)(qt-tE)}{qp} = \frac{(M+Q)(qt^2 - tE^2)}{qp}$$

Woraus man sieht, daß das Moment, um den Körper zu zerbrechen, am größten, oder, welches einerley ist, sein Tragvermögen am kleinsten ist, wenn $tE = 0$ wird, d. i. wenn sich die Last in der Mitte t befindet. In diesem Falle ist

$$V \cdot pE = (M+Q) \cdot \frac{qt}{2}$$

Wäre also das bekannte Zerbrechungs-Moment (N^{ro}. 7) des Körpers $=W$, so ist in dem Augenblick des Bruches

$$V \cdot pE = W$$

$$\text{also } W = (M + Q) \frac{qt}{2}$$

$$\text{und } Q = \frac{{}_2W}{qt} - M, \text{ die Gränze seines Trag-Vermögens.}$$

10.

Gesetzt, derselbe Körper AB , Fig. 5, wäre mit beyden Enden Bq und Ap in einer Mauer, oder in einer sonstigen Verbindung, bey gleicher Länge qp , so befestiget, daß, indem er in nt abbricht, er auch zugleich in q und in p brechen müßte, so ist sein Trag-Vermögen doppelt so groß, als wenn er nur, wie in Fig. 4, an beyden Enden aufliegt. Denn wenn sein Zerbrechungs-Moment in allen Punkten seiner Länge gleichförmig, und wie oben, W ist, so ist wegen des Bruches in t

$$Q + M = \frac{{}_2W}{qt}$$

und wenn man die Last in n , um in p und q zugleich einen Bruch zu verursachen $= Q'$ setzt, so ist für die Brüche in p und q nothwendig

$$\begin{aligned} {}_2W &= qt Q' \\ \text{und } Q' &= \frac{{}_2W}{qt} \end{aligned}$$

Das ganze Trag-Vermögen mit Einschluss der Masse des Körpers ist demnach

$$Q + M + Q' = \frac{4W}{qt},$$

zweymal so groß, als bey dem einfachen Bruche in t .

Wenn nun vollends der Körper AB von dem Widerlager seiner Länge nach, wie N^{ro}. 9 schon erinnert, auch nach Möglichkeit gestützt wäre, so vermehret sich sein Tragvermögen noch mehr, und

und zwar nach dem zusammengesetzten Verhältnisse seiner Breite t , der Stärke des horizontalen Widerstandes von Seiten der Widerlager, und der Eigenschaft des Materials einem Eindrucke zu widerstehen. Man sieht aus obigem deutlich, daß durch geschickte Verbindung das Tragvermögen steifer Körper sehr vermehrt werden kann.

11.

ACB Fig. 8 sey die mittlere Linie eines Bogens von gleichförmiger Schwere und Steifigkeit, M sein Mittelpunkt, A und B seine Widerlager, und das Zerbrechungs-Moment oder der Ausdruck der Steifigkeit in allen Punkten dieses Bogens sey $= W$. Ueber diesen Bogen bewege sich eine Last $= Q$. Es fragt sich nun, was für eine Wirkung diese Last in dem Bogen hervorbringe, und in welchem Verhältnisse sie mit dem Zerbrechungs-Moment W und den Dimensionen des Bogens stehen müsse, wenn der Bogen nicht einbrechen soll?

Es ist schon N^{ro}. 6 gezeigt worden, daß, wenn der ganze Bogen ACB nicht über 50° hält, und er selbst in allen Theilen gleich schwer angenommen werden kann, alle Wirkung seiner Schwere bey der unbedeutendsten Dicke schon als im Gleichgewichte angenommen werden darf, so daß seine Schwere weder auf eine Ausbeugung des Bogens wirkt, noch daß ein Theil seiner eigenthümlichen Steifigkeit dadurch afficiert wäre, oder dazu verwendet werden müßte, um der Schwere des Bogens Widerstand zu leisten. Seine eigenthümliche Steifigkeit kann also ganz und allein auf die Wirkung, welche eine darüber gehende Last in dem Bogen hervorbringen wollte, verwendet werden.

Wenn angenommen wird, daß die Widerlager A und B gar nicht weichen, und das Material, woraus der Bogen gemacht ist, gehö-

gehörigen Widerstand leistet, so könnte man glauben, ein solcher Bogen würde von keiner Last einen Eindruck annehmen können; weil er selbst dadurch kürzer werden, oder die Widerlager weichen müßten, welches der Voraussetzung zuwider ist. Allein bey näherer Anschauung findet man, daß der Theil AbC des Bogens (Fig. 9) sich wirklich, durch eine hinreichend schwere Last in t , nach AIC eindrücken kann, weil sich der andere Theil CfB des Bogens nach CeB ausbeugt, und soviel länger wird, als der Theil AbC durch den Eindruck kürzer geworden ist. Der ganze Bogen behält sonach seine ursprüngliche Länge, und die Widerlager A und B sind nichts gewichen.

Wenn ich nun annehme, daß die Endtheile des Bogens AD und EB auch eingemauert oder auf irgend eine andere Art mit den Widerlagern ganz befestiget sind, so müßte der Bogen in b , in f , (der Mitte zwischen b und B) in A , und in B zu gleicher Zeit abbrechen, wenn er durch die Last Q einstürzen sollte, und ein jeder dieser vier Brüche widersezt sich der Last.

Die senkrechte Kraft hb (Fig. 8) oder die angenommene Last Q , läßt sich in zwey andere, wie gb und ib zerfällen, wovon die erste gb senkrecht auf den Bogen und directe zum Bruch in b , die zweyte ib aber nach der Tangente wirkt, und deswegen außer Rücksicht kommt. Die senkrecht auf den Bogen wirkende Kraft gb , um ihn einzubrechen sey

	$= K$
und derjenige Theil davon, so für den Bruch in b nöthig ist	$= X$
der Theil für den Bruch in f	$= Y$
der Theil für den Bruch in B	$= Z$
endlich derjenige Theil, so für den Bruch in A nöthig ist	$= z$

so muß natürlich

$$K = X + Y + Z + z \text{ seyn.}$$

Um nun vorerst X zu finden, denke ich mir, der Bogen sey in A , in f und in B schon gebrochen, und folglich nur der Bogen-
theil Abf noch ganz, so wird der Theil Bf nur als Stütze in der ge-
raden Richtung Bf auf den Punkt f des Bogens Abf wirken.

Nachdem die Sehne Bf bis nach L verlängert ist, so ist Abf
als ein steifer Hebel zu betrachten, welcher seinen Drehpunkt in A
hat, auf welchen eine Last X in b wirkt, und der durch eine andere
Kraft, in der Richtung BfL , im Gleichgewichte erhalten werden
soll. Ich nenne die zu diesem Gleichgewichte in der Richtung BfL
nöthige Kraft $= x$, so ist, wenn AL senkrecht auf BL und Ad senk-
recht auf BM ist, nothwendig, daß

$$X : x = AL : Ad$$

und

$$x = \frac{Ad \cdot X}{AL} \text{ ist.}$$

Wenn bm auch senkrecht auf BL ist, so wirkt also diese
Kraft x an dem Hebelsarme bm , um den Bogen in b abzubrechen,
und zu diesem Bruche ist nothwendig

$$bm \cdot x = W$$

für x seinen Werth gesetzt

$$\frac{bm \cdot Ad \cdot X}{AL} = W,$$

und

$$X = \frac{W \cdot AL}{bm \cdot Ad}.$$

Es sey Winkel $AMb = \phi$ und $bMB = \theta$, so ist
 $ABL = \frac{1}{2}\phi + \frac{1}{4}\theta$ und $bBm = \frac{1}{4}\theta$.

Nun ist weiter die Linie - - $AB = 2 AM \sin. \frac{1}{2} (\Phi + \theta)$,
 die Linie - - - - $bB = 2 AM \sin. \frac{1}{2} \theta$,
 und die Linie - - - - $Ad = AM \sin. \Phi$,

und $AB : AL = 1 : \sin. ABL$

mithin $AL = AB \sin. ABL = 2 AM \cdot \sin. \frac{1}{2} (\Phi + \theta) \sin. \frac{1}{2} (\Phi + \frac{1}{2} \theta)$

weiter ist $bB : bm = 1 : \sin. bBm$

also $bm = bB \cdot \sin. bBm = 2 AM \cdot \sin. \frac{1}{2} \theta \cdot \sin. \frac{1}{4} \theta$,

folglich wenn man in obiger Gleichung für X die Werthe von AL ,
 bm , und Ad substituirt und gehörig abkürzt

$$X = \frac{W}{AM} \cdot \frac{\sin. \frac{1}{2} (\Phi + \theta) \cdot \sin. \frac{1}{2} (\Phi + \frac{1}{2} \theta)}{\sin. \frac{1}{2} \theta \cdot \sin. \frac{1}{4} \theta \cdot \sin. \Phi}.$$

13.

Um den zweyten Theil der zum Einbruche des Bogens nöthigen Last, nämlich T zu finden, denke ich mir, der Bogen sey in A , b und B schon gebrochen, so muß also der Last T in den geraden Richtungen $A \omega b$ und $b \nu B$ Widerstand geleistet werden.

Im Falle nun die Bogentheile Atb und Bfb vollkommen steife Körper wären, so bedarf es keines Zusammenhanges in b , um in diesem Punkte jede Last ertragen zu können. Die Last T hängt also bloß allein von der Steifigkeit des Bogens Atb , oder Bfb , ab.

T , durch die Linie bq ausgedrückt, zerlegt sich in zwey andere Kräften, die sich zur ersten bq wie bn und bA verhalten.

Der Theil der Kraft T , welcher nach der Richtung bn geht,
 sey - - - - - x
 und der andere nach der Richtung bA , - - - - - y

so ist

$$T : x = \sin. Abn : \sin. Abq = \sin. Abr : Abq$$

$$\text{und } x = \frac{T \cdot \sin. Abq}{\sin. Abr}.$$

Auch ist

$$T : y = \sin. Abn : \sin. nbq = \sin. Abr : \sin. nbq$$

$$\text{und } y = \frac{T \cdot \sin. nbq}{\sin. Abr}.$$

$$\text{Es ist der Winkel } nbq = \frac{180^\circ - \theta}{2} = \alpha$$

$$Abq = \frac{180^\circ - \phi}{2} = \beta$$

$$\text{und } Abr = 180^\circ - (\alpha + \beta) = \frac{1}{2} (\phi + \theta) = \delta.$$

Daraus folgt

$$x = \frac{T \cdot \sin. \beta}{\sin. \delta}$$

$$\text{und } y = \frac{T \cdot \sin. \alpha}{\sin. \delta}.$$

Da die Bögen Bfb und Atb keine geraden Linien sind, so wirken die Kräfte x und y an den Hebelsärlen fv und $t\omega$, um die Bögen in f oder in t abzubrechen.

Nun ist

$$fv = AM \cdot \sin. \text{vers. } \frac{1}{2} \theta$$

und

$$t\omega = AM \cdot \sin. \text{vers. } \frac{1}{2} \phi.$$

Und es ist, wegen der vorausgesetzten gleichförmigen Steifigkeit des Bogens in allen Punkten, zu dem Bruche in f , oder in t nothwendig.

daß

$$f v \cdot x = W$$

und

$$t \omega \cdot y = W$$

für x , $f v$, y und $t \omega$ ihre Werthe in diesen Gleichungen substituirt, erhält man

$$\text{I,} \quad \frac{AM \cdot \sin. \text{vers. } \frac{1}{2} \theta \cdot \mathcal{T} \cdot \sin. \beta}{\sin. \delta} = W,$$

und

$$\text{II,} \quad \frac{AM \cdot \sin. \text{vers. } \frac{1}{2} \phi \cdot \mathcal{T} \cdot \sin. \alpha}{\sin. \delta} = W.$$

Aus der Gleichung I findet man für den Bruch in f

$$\mathcal{T} = \frac{W \cdot \sin. \delta}{AM \cdot \sin. \text{vers. } \frac{1}{2} \theta \cdot \sin. \beta}$$

und aus der Gleichung II für den Bruch in t

$$\mathcal{T} = \frac{W \cdot \sin. \delta}{AM \cdot \sin. \text{vers. } \frac{1}{2} \phi \cdot \sin. \alpha}.$$

Wenn nur einer dieser beyden Brüche erfolgt, so stürzt der Bogen ein, und es ist nicht nothwendig, daß beyde brechen müssen. Ich muß also aus beyden letzten Gleichungen denjenigen Werth von $\mathcal{T}$ annehmen, welcher am kleinsten ist.

So lange aber $\phi < \theta$, ist auch der erste Werth von $\mathcal{T}$ kleiner als der zweyte. Denn für $\phi < \theta$ ist auch $\alpha < \beta$ und $\sin. \text{vers. } \frac{1}{2} \phi < \sin. \text{vers. } \frac{1}{2} \theta$, mithin aus doppelter Ursache,

$$\sin. \text{vers. } \frac{1}{2} \phi \cdot \sin. \alpha < \sin. \text{vers. } \frac{1}{2} \theta \cdot \sin. \beta.$$

Es erfolgt also so lange der Bruch in f vor dem Bruche in t , und die zu suchende Kraft ist

$$T = \frac{W}{AM} \cdot \frac{\sin. \delta}{\sin. \text{vers. } \frac{1}{2} \theta \cdot \sin. \beta}$$

und gehörig substituirt

$$T = \frac{W}{AM} \cdot \frac{\sin. \frac{1}{2} (\phi + \theta)}{(1 - \cos. \frac{1}{2} \theta) \cdot \cos. \frac{1}{2} \phi}.$$

14.

Um Z oder denjenigen Theil des Trag-Vermögens zu finden, welcher zu dem Bruche in B nothwendig ist, denke man sich, der Bogen sey in A , in b und in f schon gebrochen, so wirken seine Theile Ab und bf jezt nur als steife Linien auf den Punkt f des Bogentheiles Bf , und den Bruch in B .

Die Kraft Z , durch die Linie bq' ausgedrückt, zerfällt in die zwey andern bA und bn' . Erstere wird durch den Bogen bA aufgehoben, und für letztere, welche ich $= x$ seze, ist

$$Z : x = \sin. Abn' : \sin. Abq'$$

also
$$x = Z \cdot \frac{\sin. Abq'}{\sin. Abn'}.$$

Es ist
$$Abq' = 90^\circ - \frac{1}{2} \phi$$

$$Abn' = \frac{1}{2} (360^\circ - \phi - \frac{1}{2} \theta) = 180^\circ - \frac{1}{2} (\phi + \frac{1}{2} \theta),$$

also
$$\sin. Abq' = \cos. \frac{1}{2} \phi$$

und
$$\sin. Abn' = \sin. \frac{1}{2} (\phi + \frac{1}{2} \theta),$$

folglich
$$x = Z \cdot \frac{\cos. \frac{1}{2} \Phi}{\sin. \frac{1}{2} (\Phi + \frac{1}{2} \theta)}$$

Der Hebelsarm, an welchem die Kraft x den Bogen in B abbrechen muß, ist $Bm' = bm$; also nothwendig

$$bm \cdot x = W = bm \cdot Z \frac{\cos. \frac{1}{2} \Phi}{\sin. \frac{1}{2} (\Phi + \frac{1}{2} \theta)}$$

und
$$Z = W \cdot \frac{\sin. \frac{1}{2} (\Phi + \frac{1}{2} \theta)}{bm \cdot \cos. \frac{1}{2} \Phi}.$$

Nach N^{ro}. 12, ist $bm = 2 AM \sin. \frac{1}{2} \theta \sin. \frac{1}{4} \theta$

mithin
$$Z = \frac{W}{AM} \cdot \frac{\sin. \frac{1}{2} (\Phi + \frac{1}{2} \theta)}{2 \cos. \frac{1}{2} \Phi \cdot \sin. \frac{1}{2} \theta \cdot \sin. \frac{1}{4} \theta}.$$

15.

Um endlich die Kraft x für den Bruch in A zu finden, denke man, der Bogen sey in b , f , und B schon gebrochen, so ist es gerade so, als ob bfB gar nicht vorhanden wäre, und der Theil Ab stünde frey heraus, jedoch ohne eigenthümliche Schwere, weil diese durch die Schwere des andern Theiles bfB schon aufgehoben ist. (N^{ro}. 11) Es wirkt also die Kraft x am Hebelsarme Ad , um den Bogen in A abzubrechen. Deshwegen ist zum Bruche nothwendig

$$Ad \cdot x = W$$

und, weil
$$Ad = AM \cdot \sin. \Phi,$$

$$x = \frac{W}{AM} \cdot \frac{1}{\sin. \Phi}.$$

Es ist also die ganze senkrecht auf den Bogen wirkende Last K , welche jeder steife Bogen auf jedem Punkte, vom Anfange A bis in den Scheitel C , vermög des Zerbrechungs-Momentes, oder des Ausdruckes seiner Steifigkeit W , eben noch ertragen kann.

$$K = \frac{W}{AM} \left(\frac{\sin. \frac{1}{2}(\Phi + \theta) \cdot \sin. \frac{1}{2}(\Phi + \frac{1}{2}\theta)}{\sin. \frac{1}{2}\theta \cdot \sin. \frac{1}{4}\theta \cdot \sin. \Phi} + \frac{\sin. \frac{1}{2}(\Phi + \theta)}{(1 - \cos. \frac{1}{2}\theta) \cdot \cos. \frac{1}{2}\Phi} + \frac{\sin. \frac{1}{2}(\Phi + \frac{1}{2}\theta)}{2 \cos. \frac{1}{2}\Phi \cdot \sin. \frac{1}{2}\theta \cdot \sin. \frac{1}{4}\theta} + \frac{1}{\sin. \Phi} \right).$$

Da aber die über Bögen gehenden Lasten nicht senkrecht auf den Bogen, sondern senkrecht zum Horizont wirken, so muß die Kraft K , die jezt durch gb ausgedrückt ist, wiederum in die andere Q , welche im Verhältniß der vorigen hb ist, verwandelt werden, und dieses wird alsdann die Last seyn, welche der Bogen in dem Augenblicke seines Bruches ertragen kann.

Es ist $Q : K = 1 : gbh$

und $Q = \frac{K}{\cos. gbh}$

Nun ist aber Winkel $gbh = bMC = \frac{1}{2}(\Phi + \theta) - \Phi = \frac{1}{2}(\theta - \Phi)$

also $Q = \frac{K}{\cos. \frac{1}{2}(\theta - \Phi)}$

und endlich

$$Q = \frac{W}{AM} \cdot \frac{1}{\cos. \frac{1}{2}(\theta - \Phi)} \left(\frac{\sin. \frac{1}{2}(\Phi + \theta) \cdot \sin. \frac{1}{2}(\Phi + \frac{1}{2}\theta)}{\sin. \frac{1}{2}\theta \cdot \sin. \frac{1}{4}\theta \cdot \sin. \Phi} + \frac{\sin. \frac{1}{2}(\Phi + \theta)}{(1 - \cos. \frac{1}{2}\theta) \cos. \frac{1}{2}\Phi} + \frac{\sin. \frac{1}{2}(\Phi + \frac{1}{2}\theta)}{2 \cos. \frac{1}{2}\Phi \cdot \sin. \frac{1}{2}\theta \cdot \sin. \frac{1}{4}\theta} + \frac{1}{\sin. \Phi} \right)$$

welcher

welcher Ausdruck auf folgende sehr einfache Form gebracht werden kann:

$$Q = \frac{2 \cdot W}{AM} \cdot \frac{(\sin. \frac{1}{2} (\phi + \frac{1}{2} \theta))^2}{\cos. \frac{1}{2} (\theta - \phi) \sin. \phi (\sin. \frac{1}{4} \theta)^2}.$$

Es wäre zu wünschen, daß man bey dem gegebenen Winkel $(\phi + \theta)$, das Verhältniß $\phi : (\phi + \theta)$ d. h. den Punkt auf dem Bogen wüßte, wobey in der letzten Gleichung, für jeden Werth von W und AM , Q ein Minimum wird, weil das Minimum des Trag-Vermögens das Maximum der Last für einen solchen Bogen ist. Ich habe die Aufsuchung dieses Verhältnisses einigemal versucht, und konnte analytisch nie zum Zwecke gelangen. Durch Versuche aber habe ich in einigen Beyspielen gefunden, daß Q ein kleinstes wird, wenn $\phi = \frac{1}{4} (\phi + \theta)$ ist, durch welchen Werth man das Maximum des Trag-Vermögens findet.

17.

Nachdem ich nun das Trag-Vermögen, für alle einfache homogene Bögen, aus den Winkeln ϕ und θ , ihrem Radius AM , und ihrem Zerbrechungs-Momente W bestimmen kann; welche Theorie auf alle Bögen von was immer für einem Material, dessen Zerbrechungs-Moment durch Versuche bekannt, anwendbar ist, so will ich jezt, mit den nöthigen Gründen ausgerüstet, zur weitem Auseinandersezung meiner eisernen Brücken schreiten.

Ich habe schon N^{ro}. 3 gesagt, daß ich meine Bögen aus zusammengeschraubten gegossenen eisernen Röhren construiren. Wir wollen nun vorerst das Zerbrechungs-Moment solcher Röhren von jedem Durchmesser und jeder Eisendicke untersuchen.

Fig. 10 sey der Durchschnitt eines solchen Rohres, die Eisendicke desselben $ab = a$ Baier. Zolle, und der Radius des Rohres, bis in die Mitte der Eisendicke, $cm = b$ Zolle.

So ist der Inhalt der Zerreißungs-Fläche bey einem Bruche des Rohres

$$A = 2 \pi b a \quad \text{Baierische Quadrat-Zolle,}$$

wenn π der Umfang eines Kreises für den Durchmesser 1 ist. Der Schwerpunkt dieser Fläche ist im Mittelpunkte m .

Nach N^{ro}. 8 Fig. 7 habe man gefunden, daß die absolute Festigkeit eines baierischen Quadrat-Zolles von mittelmäßig gutem Gußeisen $= p$ baier. Zentner ist, so ist die nöthige Kraft der absoluten Zerreißung des Rohres

$$K = 2 \pi b a \cdot p \quad \text{baier. Zentner.}$$

Und da diese Kraft an dem Hebelsarme b wirken muß, um das Rohr zu zerbrechen, so ist sein Zerbrechungs-Moment, in Zentner und Zolle ausgedrückt

$$W' = K \cdot b = 2 \pi p a b^2.$$

Und in einem Ausdrücke für Zentner und Schuh, so wie es zu unserer Formel für Q (N^{ro}. 16) nothwendig ist, weil AM gewöhnlich in Schuh gegeben, und die Last Q nach Zentner bestimmt werden soll, so ist das eigentliche Zerbrechungs-Moment nach solchen Bedingungen

$$W = 2 \pi p a b \cdot \frac{b}{12} = \frac{1}{6} \pi p a b^2.$$

Das Gufseisen ist von sehr verschiedener Stärke: meine schon längst darüber angestellten wirklichen Versuche aber zeigen, daß für mittelmäßig gutes Gufseisen $p = 76\frac{1}{3}$ Zentner angenommen werden darf, d. i. ein Stab von 1 baier. Quadrat-Zoll, in seiner Durchschnitts-Fläche, wird mit einem Gewichte von $76\frac{1}{3}$ baier. Zentner eben abreißen.

Wenn nun, wie ich vorausseze, niemals ein Eisen unter der Mittelmäßigkeit zu solehem Gebrauche verwendet wird, so erhält man das Zerbrechungs-Moment für gegossene eiserne Röhren, nach unserer letzten Formel, allgemein

$$W = \frac{1}{6} \cdot 76\frac{1}{3} \cdot \pi a b^2 = 40 a b^2,$$

wobey b und a in Zollen gegeben sind.

Zum Beyspiel, wenn $b = 8''$ und $a = 1''$,

so ist $W = 2560$; und für $b = 5''$ und $a = 1''$

ist $W = 1000$, u. s. w.

13
für alle Röhren
sicht auf die
Länge des Röhren

18.

Wir haben nun noch dafür zu sorgen, daß die Stärke der Bögen, da, wo die Röhren zusammengeschraubt sind, eben so groß, als die Stärke der Röhren selbst wird, damit die vorausgesetzte gleichförmige Steifigkeit (N^{ro}. 11) in allen Punkten erfüllet werde. Fig. 11 zeigt zwey zusammengeschraubte Röhren in ihrem Längendurchschnitte an.

Der an dem einen Rohre A angegossene ringförmige Vorstoß ab schließt in die Oeffnung kl des andern B , und die Dicke der Anstoß-Scheiben, $dg = de$, ist jedesmal $1\frac{1}{4}$ von der Eisendicke

4*

des Rohres selbst, also immer $1\frac{1}{4}$ Zoll, wenn die Eisen-Dicken aller Röhren zu 1 Zoll angenommen werden, und für grössere oder kleinere Bögen nur die Durchmesser der Röhren verschieden sind.

Zu mehrerer Befestigung der Anstoss-Scheiben mit dem Schaft der Röhren, sind, zwischen jedem zwey Schrauben, Tragwinkel, wie *abc* etc. Fig. 12 angegossen, und ich werde in der Folge zeigen, wie die Formerey für den Guss solcher Röhren zu behandeln ist.

Das Zerbrechungst-Moment aller Röhren für $a = 1''$ ist (N^{ro}. 17)

$$W = 40 b^2.$$

Nun ist weiter bey allen Röhren anzunehmen, und zum Raume für die Schraubmuttern nothwendig, dass der Radius bis zum Mittelpunkt der Schrauben $hi = hn + 2'',5$,

oder $hi = b + 2'',5$ ist.

Was müfste nun die Eisendicke eines Rohres von dem Radius hi seyn, wenn es mit dem Rohre von dem Radius b und der Eisendicke $1''$ gleiche Stärke haben sollte?

Wenn ich diese zu suchende Eisendicke $= x$ seze, so ist dazu nothwendig

$$40 b^2 = 40 (b + 2,5)^2 x$$

und

$$x = \frac{b^2}{(b + 2,5)^2}$$

Nun habe ich durch Versuche gefunden, dass die absolute Festigkeit von Schmide-Eisen, aus welchem die Schrauben gefertigt werden, gerade dreymal so groß angenommen werden kann, als die absolute Festigkeit vom Gusseisen (beyde von mittlerer Güte). Folglich müfste die Eisendicke y , wenn das Rohr mit dem Radius hi von

Schmiede-Eisen wäre, um mit dem gegossenen eisernen Rohr von dem Radius b und der Eisendicke $= 1''$ gleiche Stärke zu haben, seyn

$$y = \frac{x}{3} = \frac{b^2}{3(b+2,5)^2}.$$

Der Flächen-Inhalt dieses Ringes, oder die bey einem Bruche entstehende Zerreißungs-Fläche ist

$$F = 2\pi(b+2,5) \cdot y = 2\pi(b+2,5) \cdot \frac{b^2}{3(b+2,5)^2} = \frac{2\pi b^2}{3(b+2,5)}$$

und dieser letzte Werth muß der Summe von den Durchschnitts-Flächen aller auf dem, mit dem Radius hi beschriebenen, Umfang gleich vertheilten Schrauben gleich seyn.

Wenn die Anzahl aller Schrauben $= n$ gesezt wird, so müßte die Durchschnitts-Fläche einer jeden

$$\frac{F}{n} = \frac{2\pi b^2}{3n \cdot (b+2,5)} \text{ Quadrat-Zoll seyn.}$$

Die Schrauben sind gleich dick und ihr Durchmesser sey $= z$, so ist nothwendig

$$\frac{\pi z^2}{4} = \frac{2\pi b^2}{3n \cdot (b+2,5)}$$

mithin

$$z = \sqrt{\frac{2,666 b^2}{n(b+2,5)}} = b \cdot \sqrt{\frac{2,666}{n(b+2,5)}}$$

Hieraus findet man für $b = 8$ Zoll, und $n = 10$

$$z = 1,27 \text{ Zoll}$$

und für

$$b = 5 \text{ Zoll und } n = 8$$

$$z = 1,05 \text{ Zoll etc. etc.}$$

Wir können demnach auf diese Art Bögen von jeder beliebigen Länge construiren, welche eben so zu betrachten sind, als wenn sie in einem Stück gegossen wären.

19.

Für die Annahme $b = 8$ Zoll, also (N^{ro}. 17) $W = 2560$

$$AM = 400 \text{ Fufs, } \phi + \theta = 45^\circ, \text{ und } \phi = 11^\circ 15'$$

erhält man das Trag-Vermögen eines solchen einfachen Bogens dessen Bogen-Weite oder Sehne = 306 Fufs ist,

$$Q = \frac{W}{AM} \cdot 28,66$$

oder

$$Q = 183,44 \text{ Zentner.}$$

Eine Brücke von sechs solcher Bögen, welche in gehöriger Entfernung, so wie es die Breite der Brücke verlangt, in gleichem Abstände paralell liegen, und, damit keine Seiten-Bewegung der Bögen vor sich gehen kann, ebenfalls durch Röhren gut miteinander verbunden sind, könnte demnach auf einer Linie ihrer Breite, an ihrem schwächsten Orte, eine Last von 1100 baier. Zentnern tragen. Allein, obwohl eine solche Last nie vorkömmt, weil drey der schwersten Frachtwägen neben einander noch nicht einmal die Hälfte dieses Trag-Vermögens ausmachen, und selbst diese Last nicht in einer, sondern in zwey Quer-Linien auf die Brücke wirkt; da so schwere Wägen jedesmal auf vier Rädern sind, so würde ich eine solche Brücke doch nicht für stark genug erklären können; weil sie bey geringern Lasten schon vermuthlich Schwingungen annehmen würde, welches ihr gefährlich werden könnte. Ich bin der Meinung, daß bey allen Brücken, und vorzüglich bey solchen, die Monumente sind, die größte vorkommende Last niemals ein Zehntheil des

Trag - Vermögens erreichen darf. Obige Bögen bedürfen demnach einer beträchtlichen Verstärkung, wenn die Brücke vollkommen dauerhaft seyn soll.

Die Verstärkung eines Bogens kann auf zweyerley Art geschehen; entweder man nimmt dickere Röhren, oder man legt zwey Bögen übereinander, die gehörig miteinander verbunden sind. Leztere Methode ist die vorzügliche, weil mit weniger Material mehr erzielt wird, weil die obern Bögen um vieles flacher gemacht werden können, wodurch man sich schon der nöthigen Figur der Brücke zum Auffahren merklich nähert, und weil zwey Bögen übereinander immer weniger Schwingung, als ein einziger von gleicher Stärke, haben.

20.

Wenn der Haupt-Bogen AB Fig. 13 durch einen andern darüber liegenden FHG , mittels der Quersprossen AF , ab , cd etc. verstärkt wird, so entsteht die Frage, wie groß alsdenn das Zerbrechungs-Moment dieses zusammengesetzten Bogens angenommen werden kann?

Es ist klar, daß, die Brüche bey den Widerlagern AF und BG abgerechnet, bey einem Bruche des zusammengesetzten Bogens auswärts, der Bogen ACB zerbrochen und der Bogen FHG zerrissen werden muß, und bey einem Bruche einwärts umgekehrt.

Je weiter also beyde Bögen, bey vorausgesetzt hinreichender Anzahl und Steifigkeit der Quersprossen, von einander entfernt sind, desto größer wird auch mit denselben Röhren die Steifigkeit des zusammengesetzten Bogens werden. Da aber nothwendig erfordert wird, daß die Bögen bey dem Scheitel CH möglichst eng zusammen kommen, damit die Brücken nicht unnöthig erhöht werden, und zu

vortheilhafterer Construction der Brücke der obere Bogen flacher als der untere seyn soll, so nehme ich zu dieser letzten Untersuchung, um in der Berechnung des Trag-Vermögens ja recht sicher zu gehen, die kleinste Entfernung der beyden Bögen als gleichförmig an.

Wenn die Kreis-Linien ACB und FHG die Achsen der Bögen vorstellen, und der Radius der Röhren des Bogens $ACB = b$ Zoll, der Radius der Röhren des Bogens $FHG = r$ Zoll, und die kleinste Entfernung der Achsen beyder Bögen $= l$ Fuß gesetzt wird, so ist die nöthige Kraft der absoluten Zerreiſung des Bogens FHG für die Eisen-Dicke 1 Zoll (N^{ro}. 17)

$$K = 2\pi pr = 479 \cdot r \text{ und sein Zerbrechungs-Moment} \\ W = 40 \cdot r^2.$$

Die Kraft der Zerreiſung des Bogens ACB ist

$$K' = 479 \cdot b \text{ und sein Zerbrechungs-Moment} \\ W' = 40 \cdot b^2.$$

Die Zerreiſung sowohl des obern als untern Bogens muß an dem Hebelsarme l geschehen, und es erfolgt hieraus das Zerbrechungs-Moment des zusammengesetzten Bogens, für einen Bruch auswärts,

$$M' = Kl + W'$$

für K und W' ihre Werthe gesetzt

$$M' = 479 rl + 40 b^2,$$

und das Zerbrechungs-Moment für einen Bruch des Bogens einwärts

$$M'' = K'l + W$$

für K' und W die Werthe substituirt

$$M'' = 479 bl + 40 r^2.$$

Da

Da nun (N^{ro}. 12) Fig. 8 der Bruch in b allemal einwärts, und (N^{ro}. 13) der Bruch in f allemal auswärts erfolgt, so erhält man für die zu solchen Brüchen nöthigen Lasten X und $\mathcal{V}$ bey zusammengesetzten Bögen jedesmal

$$X = \frac{M''}{AM} \cdot \frac{\sin. \frac{1}{2} (\Phi + \theta) \cdot \sin. \frac{1}{2} (\Phi + \frac{1}{2} \theta)}{\sin. \frac{1}{2} \theta \cdot \sin. \frac{1}{4} \theta \cdot \sin. \Phi}$$

und
$$\mathcal{V} = \frac{M'}{AM} \cdot \frac{\sin. \frac{1}{2} (\Phi + \theta)}{(1 - \cos. \frac{1}{2} \theta) \cdot \cos. \frac{1}{2} \Phi}.$$

Für die Werthe von Z und z (14 und 15) würde man bey zusammengesetzten Bögen für W auch M'' und M' setzen müssen, wenn man annehmen dürfte, daß die Bögen dergestalt in ihren Widerlagern befestiget wären, daß sie eher abreißen, als aus den Widerlagern heraus gezogen würden. Diese Voraussetzung kann aber aus zweyerley Ursachen hier nicht statt finden; denn erstens setzte dieses eine ganz besondere Verbindung des Mauerwerks bey den Widerlagern voraus, auch können die Endtheile der obern Bögen niemals zu dieser Absicht hinreichend mit Mauerwerk gedeckt werden, und zweytens kommt bey eisernen Brücken noch ein besonderer Umstand in Betrachtung, nämlich die Ausdehnung oder die Zusammenziehung der Bögen durch die Wärme oder Kälte, wesswegen der obere Bogen mit dem Mauerwerke nicht so fest als der untere verbunden werden darf, damit er dieser, zwar nur kleinen Veränderung, nöthigen Falls um so leichter nachgeben könne. Dieses hindert aber nicht, die Endtheile des untern Bogens mit den Widerlagern so zu verbinden, daß sich ihre Steifigkeit A und B den Lasten widersezt, folglich bleiben die Werthe für Z und z ungeändert. Alles, was übrigens durch den Widerstand der Widerlager auf die obern Bögen wegen ihrer Anstüzung entsteht, wird das Trag-Vermögen der Brücke über

die Berechnung vermehren, also zum Vortheile der Brücke gereichen.

21.

Die allgemeine Formel des Trag-Vermögens Q' einer Brücke, welche aus einer Anzahl N so zusammengesetzter, und miteinander parallel laufender eiserner Bögen besteht, ist demnach (N^{ro}. 16)

$$Q = \frac{N}{AM} \cdot \frac{1}{\cos. \frac{1}{2}(\theta - \phi)} \left(\frac{M'' \sin. \frac{1}{2}(\phi + \theta) \cdot \sin. \frac{1}{2}(\phi + \frac{1}{2}\theta)}{\sin. \frac{1}{2}\theta \cdot \sin. \frac{1}{4}\theta \cdot \sin. \phi} + \frac{M' \sin. \frac{1}{2}(\phi + \theta)}{(1 - \cos. \frac{1}{2}\theta) \cos. \frac{1}{2}\phi} + \frac{W \sin. \frac{1}{2}(\phi + \frac{1}{2}\theta)}{2 \cos. \frac{1}{2}\phi \cdot \sin. \frac{1}{2}\theta \cdot \sin. \frac{1}{4}\theta} + \frac{W}{\sin. \phi} \right)$$

welches aus dem bekannten Radius vom Haupt-Bogen AM , aus den bekannten Winkeln ϕ und θ , aus den, nach N^{ro}. 17 und 20, mittels der gegebenen Radien und Eisendicken (welche aber durchaus zu ein Zoll angenommen wird) der Röhren zu berechnenden Zerbrechungs-Momenten M' , M'' und W , und aus der Anzahl solcher Bögen, woraus die Brücke besteht, N (für den sinus totus = 1 wie es durchaus angenommen wurde) berechnet werden kann.

Ich setze zum Beyspiel, wie N^{ro}. 19

$AM = 400$ Fuß
$\phi + \theta = 45^\circ$
$\phi = 11^\circ 15'$
$\theta = 33^\circ 45'$
$b = 8$ Zoll
$r = 5$ Zoll

und die geringste, oder die angenommene gleiche Entfernung von den Achsen beyder Bögen $l = 4$ Fuß, endlich die Anzahl solcher

miteinander verbundenen und parallel laufenden Bögen, aus welchen die ganze Brücke besteht, - - - - - $N = 6$,

so findet man (N^{ro}. 20) - - - - - $M' = 12140$, $M'' = 16328$,

und - - - - - $W = 2560$,

und aus diesem das Trag-Vermögen einer solchen Brücke

$$Q' = 5043 \text{ baier. Zentner.}$$

Nicht der zehnte Theil von diesem Trag-Vermögen, der so ungeheuern eisernen Brücke, kann je so vorkommen, daß dadurch die Brücke nur auf einer Linie ihrer Breite gedrückt wird, so wie es die Formel erfordert. Denn wenn drey Lastwagen neben einander, jeder zu 160 Zentner, über diese Brücke passierten, so wäre dieses noch nicht $\frac{1}{10}$ des Trag-Vermögens. Hiezu kommt noch, daß die Wagen die Brücke nicht in einer, sondern zwey Linien drücken, und daß das Trag-Vermögen selbst, durch die Anstüzung der obern Bögen an ihre Widerlager, beträchtlich vermehret wird. Es ist aber auch nothwendig, daß man bey dergleichen, so zu sagen der Ewigkeit trozenden Werken, einen solchen Kraft-Ueberfluß hat, damit niemals ein, auf den Ruin der Brücke wirkendes, Schwanken bey darüber gehenden Lasten möglich werden kann, und ich würde zu einer solchen Brücke, von 306 Fuß in der Bogenweite, die Röhren nicht schwächer machen.

Es bedarf übrigens kaum der Erinnerung, daß eine auf der Brücke vertheilte viel grössere Last, zwar mehr auf die Widerlager, aber um so weniger auf einen Einbruch der Brücke wirkt, je gleichförmiger die Last vertheilet ist. Und wenn man annimmt, daß der Widerstand von den Widerlagern und von den Röhren, längs ihrer Achse, jede in diesen Fällen vorkommende Gränze bey weitem übersteigt, so ist auch jede mögliche, auf der Brücke ganz gleich

vertheilte, Last ganz und gar ohne Wirkung; weil alsdann die Sache so zu betrachten ist, als wenn die Bogentheile selbst soviel schwerer wären, welche (N^{ro}. 6) bey Bögen von so wenig Grade auch ohne eigenen Zusammenhang im Gleichgewichte sind.

22.

Für das Trag-Vermögen Q (N^{ro}. 21) einer andern ähnlichen Brücke von 150 Fufs in der Bogenweite, wobey

$$AM = 196 \text{ Fufs}$$

$$\phi = 11^\circ 15'$$

$$\theta = 33^\circ 45'$$

$$b = 5 \text{ Zoll}$$

$$r = 3,5 \text{ Zoll}$$

$$l = 3 \text{ Fufs}$$

und

$$N = 6 \text{ angenommen wird, erhält man}$$

$$Q = 4612 \text{ Zentner.}$$

23.

Für Brücken unter 100 Fufs in der Sehne oder Bogenweite, ist es nicht absolut nothwendig, zusammengesetzte Bögen zu machen, sondern ich glaube, diese könnten aus einfachen und noch flächern Bögen von verhältnißmäfsig dickern Röhren construirt werden. — Das Trag-Vermögen wird nach N^{ro}. 16 berechnet.

Zum Beyspiel, der Radius, womit ein solcher Bogen beschrieben ist, sey

$$M = 121,3 \text{ Fufs}$$

$$\phi = 9^\circ$$

$$\theta = 27^\circ$$

$$b = 5,5 \text{ Zoll}$$

so ist sein Zerbrechungs-Moment $W = 1210$.

Die Bogen-Weite 75 Fuß, und das Trag-Vermögen einer Brücke mit fünf solchen Bögen

$$Q = 1790 \text{ Zentner,}$$

welches ich, bey so kleinen Brücken die wegen ihrer Kürze keine schädlichen Schwingungen annehmen können, bey weitem hinreichend glaube, da dieses Trag-Vermögen die Last des schwersten Last-Wagens wenigstens zehnmal übertrifft. Doch wem es allenfalls noch gefährlich scheinen wollte, der darf nur sechs Bögen nehmen, oder die Röhren um einen Zoll weiter machen. Im ersten Falle wäre das Trag-Vermögen 2134 Zentner, und im zweyten, da sich die Trag-Vermögen wie die Zerbrechungs-Momente, und diese wie die Quadrate der Röhren-Durchmesser verhalten, = 2130 Zentner. Lezteres ist ökonomischer, da man mit der Hälfte Vermehrung des Eisens denselben Zweck erreicht.

24.

Wenn das Trag-Vermögen einer Brücke als bekannt und Bedingung vorausgesetzt wird, und die Anzahl der Bögen und ihre Dimensionen gegeben sind, so sind in den Formeln (N^{ro}. 16 und 21) für das Trag-Vermögen, die trigonometrischen Factoren bekannte Größen, und es läßt sich für einfache Bögen (N^{ro}. 16) das Zerbrechungs-Moment W , folglich auch nach N^{ro}. 17 der Durchmesser der Röhren sogleich, und bey Brücken mit zusammengesetzten Bögen (N^{ro}. 21) die Durchmesser der Röhren beyder Bögen, nach eigenen Versuchen, auch bald finden; indem man bey leztern die kleinste Entfernung der Bögen, als zu ihren Dimensionen gehörig, festsetzt, und die Radien b und r , der untern und obern Röhren, so lange ver-

ändert, bis die, nach N^{ro}. 20 daraus berechneten, Zerbrechungs-Momente M' , M'' und W in der Formel den Werth von Q genau, oder, so wie es bey diesen Fällen nur nöthig ist, beynahe geben. Man kömmt gewöhnlich nach einigen Versuchen schon zum Zweck; jedoch ist hiebey zu erinnern, daß die Röhren der untern Haupt-Bögen immer beträchtlich dicker als die der obern Bögen seyn sollen, weil sie den bey weitem größten Theil des Druckes, womit die Brücke auf die Widerlager wirkt, auszustehen haben.

25.

Die in N^{ro} 21 zum Beyspiele aufgestellte ungeheuere eiserne Brücke von 306 Fuß in der Bogenweite, von deren Gröfse noch nirgends, weder von Eisen, Stein oder Holz eine existirt, und auch ohne diese Methode schwerlich von was immer für einem Material solid und dauerhaft genug errichtet werden kann, bedarf zu ihrer Erbauung (was ich in der Folge, bey Erklärung der Plane, noch näher auseinander setzen werde) 1178 gegossene eiserne Röhren, und 24 Widerlag-Platten, welche zusammen 7496 Zentner wiegen, und 11156 kurze Schrauben von Schmideisen im Gewichte 329 baierische Zentner.

Eine Brücke mit zwey Bögen von den Dimensionen, wie der in N^{ro}. 22 berechnete, und welche also samt dem mittlern Brücken-Pfeiler 310 Fuß in der Länge hat, bedarf nur 5281 Zentner Gußeisen, und 8304 Schrauben, im Gewichte 245 Zentner.

Eine Brücke endlich, wie die in N^{ro}. 23 berechnete, bedarf zu ihrer Ausführung 714 Zentner Guß- und 22 Zentner Schmide-Eisen.

Diese drey Brücken sind es auch, wovon ich die Plane *IV* und *V* als Beyspiele entworfen habe, deren nähere Erläuterung aber weiter unten vorkommen wird.

26.

Was den Druck dieser Brücken auf ihre Widerlager betrifft, so müssen wir erst untersuchen, wie groß die größt mögliche Belastung sey, die je vorkommen kann.

Die große Brücke mit einem Bogen hat 36 Fuß in der Breite, und es können sich gedrängt darauf befinden 3400 Menschen, jeden zu 150 H gerechnet, ist	-	-	-	-	-	5100 Zentner
oder 370 Kavalleristen, jeden samt Pferd zu 10 Zentner	3700	—	—			
oder 12 achtpännige 24pfündner Kanonen, jede, samt Pferde, 170 Zentner, ist	-	-	-	-	-	2040 — —
oder 12 achtpännige Lastwagen, samt Pferde zu 238 Zentner angenommen, ist	-	-	-	-	-	2856 — —

Wir sehen hieraus, daß in den gewöhnlichen und am leichtesten sich ereignenden Fällen ein Gedränge von Menschen bey weitem die größte Belastung ist.

Nun wiegt die Brücke samt ihrer Belegung ohngefähr 15000 Zentner und die Last von den 3400 Menschen ist

-	-	-	5100 — —
---	---	---	----------

zusammen 20100 Zentner.

Wenn S die halbe Schwere der Brücke, oder die Schwere des Bogens vom Widerlager bis in den Scheitel ausdrückt, und der Winkel im Mittelpunkte von diesem halben Bogen $= \theta$ gesetzt wird,

so ist nach N^{ro}. 5 der Druck R von Seiten dieses Bogens auf das Widerlager nach der Richtung der Tangente

$$R = \frac{S}{\sin. \theta}.$$

Für die große Brücke mit einem Bogen ist $S = 10050$ Zentner und $\theta = 22\frac{1}{2}^\circ$ (N^{ro}. 21) also $R = 26262$ Zentner.

Für einen Bogen der zweyten Brücke ist $S = 4700$ Zentner und $\theta = 22\frac{1}{2}^\circ$ (N^{ro}. 22) also $R = 12297$ Zentner,

und für die kleine Brücke, mit 24 Fufs Breite, ist $S = 1088$ — — und $\theta = 18^\circ$ (N^{ro}. 23) also $R = 3520$ Zentner.

In obiger Berechnung des Druckes auf die Widerlager wurde angenommen, als wenn die Brücken in ihrem Scheitel gar keinen Zusammenhang hätten, sondern die Bogen-Hälften nur wider einander lägen. Obschon die Steifigkeit der Brücken im Scheitel den Druck derselben auf ihre Widerlager vermindert, so ist doch diese Verminderung so unbedeutend, daß sie, bey dergleichen großen Wirkungen, keine Rücksicht verdienet.

Der Druck auf die Widerlager von massiv steinernen, gleich großen und ähnlichen, Brücken ist wenigstens achtmal so groß, als der der eisernen; und da dieses bey allen Brücken, von was immer für Bogen-Weiten, derselbe Fall ist, so erwächst hieraus für die eisernen Brücken gegen die steinernen, von gleicher Gröfse, der beträchtliche Vortheil, daß man dabey immer $\frac{7}{8}$ der Widerlager, als einen kostspieligen Gegenstand bey dem Brückenbau, ersparet.

Der Theil des Druckes, von Seiten der Brücken gegen ihre Widerlager, welcher horizontal wirkt, und folglich allein bestrebt ist die Widerlager auf die Seite zu schieben, ist $W = \frac{S}{\text{Tang. } \theta}$ (N^{ro}. 5) wobey S und θ dieselbe Bedeutung wie N^{ro}. 26 haben.

Da nun diese Kraft bekannt ist, so läßt sich auch die nöthige Masse der Widerlager daraus berechnen, oder wenigstens zur vollkommenen Beruhigung des Baumeisters überschlagen.

Ich denke mir zu dieser Absicht, die Widerlager seyen jederzeit so construirt, dafs die verlängerte Richtung der Kraft R (N^{ro}. 26) in ihre Grundfläche fällt, damit sie, wenn der Druck grofs genug wäre, zwar auf die Seite geschoben, aber von keiner Kraft umgeworfen werden können, und dafs das Mauerwerk eine solche Verbindung unter sich hat, dafs kein Theil des Widerlagers, welcher hinter den Tangenten zu den untern Bögen liegt, ohne den andern weichen kann.

Die zu suchende nöthige Masse eines Widerlagers sey $= X$ Zentner.

Nun nehme ich an, dafs das Widerlager auf seiner, entweder natürlichen oder künstlich festen, Grundlage eine Reibung $= \frac{1}{2}X$ habe.

Der senkrechte Theil des Druckes von Seiten der Brücke auf das Widerlager ist S (N^{ro}. 5). Folglich wird auch die Last des Widerlagers um eben so viel vermehret, und es ist im Stande des Gleichgewichtes nothwendig

$$\frac{1}{2} (X + S) = W = \frac{S}{\text{Tang. } \theta}$$

folglich

$$X = S \left(\frac{2}{\text{Tang. } \theta} - 1 \right).$$

Bey diesem Werthe von X und den obigen Annahmen würden die Widerlager, bey der gröfst möglichen Belastung der Brücken, eben zu weichen anfangen, welches natürlich nicht seyn darf. Es muß also hier, eben so wie bey dem Trag-Vermögen, ein Kraft-Ueberfluß seyn, und ich glaube zur Dauer der Brücke ohne Ueberreibung annehmen zu dürfen, daß die Schwere der Widerlager wenigstens zweymal so groß, als zum Gleichgewichte erforderlich ist, angenommen werden müsse, so daß

$$X = 2S \left(\frac{2}{\text{Tang. } \theta} - 1 \right) \text{ gemacht wird.}$$

Für unsere erste große Brücke von 306 Fuß in der Bogenweite wäre also die Schwere eines Widerlagers - $X = 76951$ Zentner
für die zweyte Brücke mit zwey Bögen, wovon
jeder 150 Fuß in der Weite hat - - - - $X = 35987$ — —
und für die dritte von 75 Fuß Bogenweite - $X = 11218$ — —

Zu den Widerlagern, in dieser Hinsicht, darf nur derjenige Theil von deren Masse gerechnet werden, welcher außerhalb den verlängerten Tangenten zu den Endpunkten der untern Bögen liegt.

Die Stärke der Widerlager wird, durch das Anschütten der Strafe, über obige Berechnung noch sehr beträchtlich, und zur gänzlichen Beruhigung vermehret.

Ich habe schon N^{ro}. 20 von der Ausdehnung und Zusammenziehung der eisernen Brücken durch die Wärme und Kälte einige Erwähnung gemacht; allein dieser höchst wichtige Gegenstand bey der Construction großer eiserner Brücken mit flachen Kreisbögen verdient allerdings, und um so mehr einer nähern Untersuchung, da die Veränderung durch die Wärme und Kälte bey einer fehlerhaften Construction allein, und ohne alle fremde Einwirkung, Ursache ihrer Zerstörung werden könnte.

Hier folgen einige eigens zu dieser Absicht angestellte Versuche, über die Ausdehnung durch die Wärme, bey ordinären festen Sandstein und Gufseisen.

Ich bediente mich zu diesen Versuchen einer Vorrichtung, wobey der Pariser Zoll in 7640 Theile durch eine Mikrometer-Schraube eingetheilet ist.

Die Länge meines zu den Versuchen angewandten Steines, bey der Temperatur von $+ 7^{\circ}$ Reaumur, war $21,89 = 167170$ Theile meines Mefs-Apparats, und die Länge des Gufseisens, bey der Temperatur $+ 5^{\circ}$, war $21,75 = 166170$ Theile. Nun zeigten neun Versuche innerhalb den Temperaturen von $- 11^{\circ}$ und $+ 53^{\circ}$ bey dem Stein, und sieben Versuche mit dem Gufseisen zwischen $- 7^{\circ}$ und $+ 54^{\circ}$ Temperatur,

1^{mo} dafs die Ausdehnungen mit den Temperaturen gleichförmig zu- und abnehmen, und

2^{do} dafs für jeden Grad der Temperatur die Ausdehnung
 bey dem Stein $- = 1,785$ }
 und bey dem Eisen $= 2,287$ } obiger Theile meines Mefs-Appa-

rats, im mittlern Durchschnitte, betragen hat. Für den Sandstein kann demnach die Ausdehnung oder Zusammenziehung für jeden Grad Temperatur-Unterschied $= 0;00001067$, und für Gufseisen $= 0;00001376$ der jedesmaligen ganzen Länge angenommen werden.

Ich setze nun, die ganze Länge eines Bogens sey $- - - = L$
 und der Temperatur-Unterschied, innerhalb welchem man
 seine absolute Ausdehnung verlangt $- - - - - = n^{\circ}$
 so ist, wenn die Ausdehnung für Stein $- - - - - = x$
 und für Gufseisen $- - - - - = y$
 gesetzt wird

$$x = 0,00001067 Ln$$

und

$$y = 0,00001376 Ln.$$

Z. B. bey unserer grossen Brücke mit einem Bogen ist die Länge $L = 314$ Fufs, und da ich annehme, dafs die Brücken in mittlerer Temperatur erbauet werden, so kann man höchstens setzen $n = 30^{\circ}$;

es ist also für diese Annahmen $x = 0,1018$ Fufs

und

$$y = 0,1312 \text{ —}$$

Ein steinerner Bogen von dieser Länge müfste demnach im höchsten Sommer oder im höchsten Winter um $0,1018$ Fufs, und ein gegossen eiserner um $0,1312$ Fufs länger oder kürzer werden, als bey der mittlern Temperatur. Da nun angenommen werden mufs, dafs die Widerlager bey jeder Temperatur eine unveränderliche Entfernung haben, so folgt hieraus:

1. Dafs sich solche Brücken bey der Erwärmung in der Mitte erheben, und bey Erkältung niedersinken.

2. Dafs diese Erhebung oder Senkung bey gleicher Temperatur-Veränderung um so beträchtlicher ist, je flacher die Bögen sind.

Der Unterschied der Ausdehnung zwischen Sandstein und Gußeisen ist wirklich unbedeutend, und es scheint mir weit schwerer zu erklären, wie steinerne Bögen, welche überdies gewöhnlich oberhalb fast ganz gerade zugebaut und von beträchtlicher Dicke sind, bestehen können, ohne im Sommer auswärts und im Winter einwärts gehende sichtbare Risse zu bekommen, als für die Ausdehnung bey eisernen Brücken, durch eine anpassende Construction, einen Ausweg zu finden, so, dafs die Veränderung durch die Wärme und Kälte nicht gefährlich werden kann.

29.

Ich nehme die grofse Brücke, von 306 Fufs in der Bogenweite und 45 Grad im Bogen, wieder zum Beyspiele an, weil, was für diese wahr ist, auch für alle andere gilt, und betrachte vorerst nur den Haupt-Bogen ACB (Fig. 13).

Wenn dabey die Entfernung AB als unveränderlich, und der Bogen längs seiner Achse als vollkommen unnachgiebig anerkannt wird, so muß er sich, wie schon gesagt, bey der Wärme erheben und bey der Kälte wieder niedersenken.

Bey der Annahme nun, dafs dieser Bogen bey jeder Veränderung, durch die veränderte Temperatur, wieder als eine Kreis-Linie betrachtet werden kann (eine Voraussetzung, die von der Wahrheit ungemein wenig abweicht, da die ganze Quantität der Veränderung im Verhältnifs der Bogen-Länge selbst so unbedeutend ist) so findet man, durch eine leichte Berechnung, dafs, wenn sich der Bogen

beym Scheitel um 0,25 Fuß über seinen mittlern Zustand erhebt oder niedersenkt, er auch um 0,1312 Fuß länger oder kürzer werden muß. Nun ist der Bogen im Verhältniß seiner Länge sehr dünn, und es ist defswegen außer allem Zweifel, daß die Elasticität des so langen Bogens bey weitem hinreicht, dieser kleinen Bewegung nachzugeben, ohne nur im mindesten an einen Bruch zu denken. Von dieser Wahrheit habe ich mich, bey zusammengeschraubten großen eisernen Röhren zu Wasserleitungen, schon mannigfaltig zu überzeugen Gelegenheit gehabt. Wollte man aber eigens Versuche darüber anstellen, so müßte ein gehörig starkes Fundament von festen Steinen in die Erde gelegt, und eine, oder besser anderthalb Röhren senkrecht und fest mit eingebauet werden. Auf diese untere Röhren wird die Aufsezung und Aufschraubung mehrerer gleicher Röhren in senkrechter Lage so lange fortgesetzt, bis das erforderliche Verhältniß der Dicke zur Länge erreicht ist.

Die Bewegung nun, welche dem obersten Punkte dieser Säule von ihrer natürlichen Lage, ohne zu brechen, nach der Seite gegeben werden kann, wird also beynahe das Verhältniß ausdrücken, in welchem jeder so construirte Bogen, vermög seiner Elasticität und Länge, nachzugeben im Stande ist.

Was nun den obern Bogen *FHG* betrifft, so habe ich schon N^{ro}. 20 erinnert, daß derselbe mit seinen Endtheilen nicht so fest wie der untere in die Widerlager eingebauet seyn darf, damit er der Ausdehnung nachgeben kann. Uebrigens aber kann er auf die Veränderung des untern Haupt-Bogens durch die Temperatur keinen zu gewaltsamen Einfluß haben; weil seine Veränderung mit der des Haupt-Bogens gleiche oder beynahe gleiche Schritte machet, und vorzüglich weil die, so viel möglich, zwischen beyden Bögen senkrecht stehenden, Quersprossen *ab*, *cd*, *ef* etc. welche ihn mit dem

untern Bogen verbinden, lang genug sind, um mittels ihrer Elasticität der sehr kleinen Seiten-Bewegung in der Ebne der Bögen, welche von der Veränderung des untern Bogens herrühret, nachgeben zu können. Dieses ist so zu verstehen: wenn bey den fixen Punkten *A* und *B*, der Bogen *ACB*, durch die Wärme oder Kälte, bey seinem Scheitel *C* aufsteigt oder niedersinkt, so muß natürlich dadurch eine ähnliche Form-Veränderung in dem obern Bogen *FHG* vorgehen, weil die Quersprossen ihre Länge nicht merklich ändern. Dadurch geschieht aber, daß sich die Endpunkte *F, b, d*, und *G, i, l*, etc. der Quersprossen, beym Aufsteigen in etwas gegen den Scheitel *H* nähern, und beym Niedersinken davon entfernen müssen, welches, wegen ihrer vom Scheitel gegen die Widerlager hin allmählig anwachsenden Länge, ohne zerstörenden Zwang möglich ist. Würde die Verbindung des obern Bogens mit dem untern durch schreg gestellte Quersprossen *Gn, ni, io, ol*, etc. gemacht werden, so könnte man zwar Eisen ersparen, allein die Seiten-Bewegung derselben in der Ebne der Bögen wäre unmöglich, und es müßte nothwendig bey der Wärme der obere, und bey der Kälte der untere Bogen zerreißen. Man wird mir einwenden, daß durch solche Nachgiebigkeit der Quersprossen, in der Ebne der durch sie verbundenen Bögen, die Brücken eine gewisse Elasticität behalten, welches zu Schwingungen Anlaß giebt; allein darauf muß ich antworten, daß eben diese übrig bleibende kurze Elasticität für die Dauer der Brücken wohlthätig ist, und höchstens ein Zittern (wie das Zittern eines jeden noch so großen Hauses, wenn ein Wagen vorbey fährt) aber niemals eine accelerirende und dadurch schädliche Schwingung verursachen kann. Wäre es möglich, eine solche Brücke ohne alle Elasticität zu bauen, so müßte sie durch die geringste Erschütterung, welche von einem darüber gehenden leichten Fuhrwesen herrühren könnte, zerbrechen.

Es ist gewöhnlich der Fall, daß Theorien über dergleichen technische Gegenstände mit der Wirklichkeit selten ganz genau zusammenstimmen; weil bey diesen Dingen die Theorie oft Gröfsen als durch Versuche bekannt und constant voraussetzt, die in der Natur, wegen der Verschiedenheit der Materialien, manchmal der Voraussetzung nicht ganz entsprechen, oder einen veränderlichen Werth besitzen. Allein ich glaube, daß, wenn auch hier eine solche Abweichung der Practik von der Theorie statt finden sollte, dieselbe doch wenigstens nicht zum Nachtheil meiner Vorschläge ausfallen kann, weil ich mich, der Sicherheit wegen, durchaus bemühet habe, immer die kleinsten Annahmen zu machen, und überdiß so beträchtlichen Kraft-Ueberfluß voraus seze.

Die wirklichen Versuche, um zu erforschen, in wieweit die Theorie mit der Praxis in diesem Falle zusammenstimmet, wären meines Erachtens sehr leicht, und auf eine gewisse Art mit gar keinem Unkosten verbunden; denn man dürfte nur über irgend ein kleines Wasser in einem öffentlichen Garten oder anderwärts, wo nämlich ohnehin schon eine dauerhafte Brücke nöthig ist, eine solche Brücke nach einem verjüngten Maßstabe erbauen, und derselben (N^{ro}. 24) nur ein Trag-Vermögen geben, welches die grössten darüber gehenden Lasten höchstens dreymal übertrifft. Leidet nun diese Brücke, unter allen Umständen, gar keine sichtbare Veränderung, so wird auch wohl jede andere, mit einem die grösst möglich vorkommende Last zehnfach übertreffenden Trag-Vermögen, gewiß stark genug seyn.

Wollte man aber den Versuch vollkommen herstellen, so müßte auf einer Linie nach der Quere und im vierten Theil der
Länge

Länge dieser Brücke nach und nach solange Last aufgelegt werden, bis sie zusammenbricht; denn hieraus könnte man erst die Theorie mit der Wirklichkeit vollkommen vergleichen.

Der Schaden bey diesem Experimente wäre auch so groß nicht; denn wahrscheinlich würden bey dem Einsturze nur wenige Röhren zerbrechen, welche leicht zu erneuern sind, und die Brücke könnte, ohne besondere Unkosten, bald wiederum aufgestellt seyn.

CONSTRUCTION

DER

VORGESCHLAGENEN EISERNEN BRÜCKEN.

31.

Die in N^{ro}. 21 berechnete, und in der Folge oft zum Beyspiele aufgestellte, groſſe eiserne Brücke mit einem Bogen, dessen Sehne 306 Fuſs hat, ist Tafel IV Fig. 15 im Längen-Durchschnitt, Fig. 16 im Grundrifs, mit Hinweglassung der Bedeckung und der obern Bögen, Fig. 17 im Quer-Durchschnitt durch den Scheitel, und Fig. 18 nach ihrer Länge zu sehen.

Die Sehne AB Fig. 15, von der Achse der untern Bögen gerechnet, ist 306 Fuſs $= S$, und der Winkel, welchen sie im Mittelpunkt einschliessen, $45^\circ = \theta$. Der Radius also, womit diese Bögen beschrieben sind,

ist
$$R = \frac{\frac{1}{2}S}{\sin. \frac{1}{2}\theta} = 399,81 \text{ Fuſs.}$$

Daraus folgt der Sinus versus, oder die Höhe der Bögen vom Scheitel bis zur Sehne

$$V = R - R \cos. \frac{1}{2}\theta = 30,44 \text{ Fuſs,}$$

welches also beynahe $\frac{1}{10}$ der Bogenweite ist.

Die Länge des ganzen Bogens ist

$$L = \frac{2\pi R\theta}{360} = 3,3,95 \text{ Fufs.}$$

Die Anzahl der stehenden Quersprossen, welche jeden obern Bogen mit seinem untern verbinden, ist gerade, wenn im Scheitel keine ist, im Gegentheile aber ungerade. Da nun nicht ein jedes, sondern nur jedes zweyte Rohr der Bögen eine Quersprosse hat, so ist auch allemal die Anzahl der Röhren eines jeden Bogens ungerade, die Zahl der Quersprossen mag gerade oder ungerade seyn.

Wenn die Anzahl der Röhren eines Bogens $= n$ gesetzt wird, (ohne jene, welche bey den untern Bögen ganz in den Widerlagern eingebaut sind) so erhält man die Anzahl der stehenden Quersprossen

$$q = \frac{n+1}{2},$$

woraus man sogleich sehen wird, ob eine in den Scheitel zu stehen kommt, oder nicht.

In den grossen Eisen-Schmelzen von England, Frankreich etc. ist man wohl im Stande, neun, zehn und noch mehr Fufs lange Röhren zu gießen; um aber die Sache allgemein zu machen, so, daß solche Brücken in jeder kleinen Eisen-Schmelze auch gegossen werden können, soll die grösste Röhren-Länge nicht viel über sechs Fufs betragen.

32.

Man sieht in Fig. 15 bey AB und CD , daß die End-Röhren der Bögen $\frac{1}{4}$ ihrer Länge in den Widerlagern stecken; es muß also der Bogen in $(n - \frac{1}{2})$ Theile eingetheilt werden, um die Länge eines

Rohres zu erhalten. Der Winkel ϕ , den ein jedes Rohr im Mittelpunkt einschließt, ist demnach

$$\phi = \frac{\theta}{n - \frac{1}{2}} = \frac{45^\circ}{52,5} = 0^\circ, 51' 25,7''$$

Die Röhren werden, da sie einen so kleinen Bogenheil ausmachen, gerade gemacht, und die Länge der Achse eines jeden Rohres ist demnach

$$T = R \cdot \frac{\sin. \phi}{\cos. \frac{1}{2} \phi} = 5,981 \text{ Fufs.}$$

Damit aber solche Röhren den verlangten Bogen bilden, wenn sie mit ihren Anstofs-Scheiben dicht aneinander liegen, so müssen die Flächen ihrer Anstofs-Scheiben gegen den Mittelpunkt des Bogens convergiren. *cdmn* Fig. 14 sey ein solches Rohr, *al* seine Achse, und *f* der Mittelpunkt des Bogens, so ist $fl = R$, $lfa = \phi$ und $al = T$, und $R : T = (R - lc) : cn$.

also $cn = \frac{T(R - lc)}{R}$

Eben so ist $R : T = (R + dl) : dm$

folglich $dm = \frac{T(R + dl)}{R}$.

Nachdem nun $lc = dl$ bekannt ist, so lassen sich auch die größte Entfernung dm und die kleinste cn , d. i. die nöthige Lage der Anstofs-Scheiben berechnen: nämlich bey unsern Bögen ist $cl = dl = 0,96$ Fufs, folglich $cn = 5,9667$ und $dm = 5,9954$ Fufs.

Die Sehne *CD* der obern Bögen (Fig. 15) ist $= 3,16$ Fufs $= S'$, und da ihre Endpunkte *C* und *D* um 14,5 Fufs höher als *A* und *B* liegen,

und die mittlere Entfernung beyder Bögen im Scheitel 4 Fufs ist, so ist seine senkrechte Höhe vom Scheitel bis zur Sehne, oder sein Sinus versus

$$V' = 30,44 - 14,5 + 4 = 19,94 \text{ Fufs,}$$

sein Radius ist demnach $R' = \frac{S'^2}{8V'} + \frac{1}{2}V' = 635,95 \text{ Fufs.}$

Seine Länge in Graden, oder der Winkel, den er im Mittelpunkte einschliesst, $= \theta'$ gesetzt, ist, da $\sin. \frac{1}{2}\theta' = \frac{S'}{2R'}$,

$$\theta' = 28^\circ 46' 16''$$

und die Länge L' des Bogens

$$L' = 319,282 \text{ Fufs.}$$

Da die obern Bögen eben so viele Röhren wie die untern haben müssen, so ist der Winkel, den ein jedes Rohr im Mittelpunkte einschliesst, $\frac{28^\circ 46' 16''}{52,5} = 32' 53''$, und folglich die Länge seiner

Achse $T' = 6,083 \text{ Fufs.}$ Der Radius der Anstofs-Scheiben ist 0,66 Fufs, also ist (Fig. 14) $cn = 6,0767$ und $dm = 6,0893$.

Auf solche Art läßt sich die Länge und Form der Röhren genau berechnen, welches besser ist, als deren Bestimmung durch die Zeichnung, weil kleine Fehler (von denen keine Zeichnung, und vorzüglich nach einem verjüngten Mafsstabe, frey ist) in den Röhren grofse Fehler in den Bögen hervorbringen würden, wesswegen ich auch alle dazu gehörigen Formeln, um es allgemein zu machen, hergesezt habe.

Alle Quersprossen, sowohl die aufrechten, durch welche die obern Bögen mit den untern verbunden werden, als auch die liegenden, welche die sechs zusammengesetzten Bögen, aus denen die ganze Brücke besteht, miteinander verbinden, sind ebenfalls Röhren, die mit jenen der obern Bögen gleiches Kaliber haben.

Die untern, wie die obern Bögen sind durch liegende Quersprossen miteinander verbunden, wie im Durchschnitt des Scheitels (Fig. 17) $AB\ CD$ zu sehen ist; allein diese sind an den Röhren der Bögen angebracht, welche keine stehenden Quersprossen haben. Fig. 16.

Fig. 19 ist ein oberes Bogenrohr im Längen-Durchschnitt nach einem größern Maßstab, welches entweder zu den beyden Seiten-Bögen gehört, oder von den vier innern ein solches ist, das nur eine stehende Quersprosse hat. Fig. 20 ist die Ansicht eines obern Bogen-Rohres von den vier innern Bögen, welches die nöthigen zwey Anstöße AB und CD für liegende Quersprossen hat.

Fig. 21 ist der Durchschnitt eines untern Bogenrohres, welches, wie Fig. 19, zu den Seiten-Bögen gehört, oder von den innern eines ist, das eine stehende Quersprosse trägt; und

Fig. 22 ist eines der untern Bogenröhren von den vier innern Bögen mit den Anstößen $AB\ CD$ für die liegenden Quersprossen wie $AB\ FE$. GH zeigt den Querdurchschnitt eines solchen Rohres. Man könnte glauben, daß die Röhren mit den einfachen Anstößen (Fig. 19 und 21) sowohl für stehende als liegende Quersprossen be-

nützt werden könnten; allein, obschon der Unterschied nur sehr klein und in der Zeichnung nicht auszudrücken ist, so ist doch dieses der Fall nicht; denn für eine stehende Quersprosse muß der Anstoß AB auf der Seite des Rohres liegen, wohin, bey den obern Bögen, die Vorstoß-Scheiben CD EF convergiren, und bey den Röhren der untern Bögen divergiren. Für eine liegende Quersprosse aber muß er mit der ersten Lage einen rechten Winkel machen. Die Anstöße AB CD (Fig. 20 und 22) für die liegenden Quersprossen müssen alle mit der Richtung, wohin die Anstoß-Scheiben divergiren oder convergiren, im rechten Winkel stehen.

Die Ebenen der Vorstoß-Scheiben sind alle mit der Achse der Röhren, und wo deren zwey sind, (Fig. 20 und 22) auch unter sich selbst parallel. Da nun die sechs Brücken-Bögen miteinander parallel laufen, so werden auch alle Anstoß-Scheiben der liegenden Quer-Sprossen parallel zueinander seyn.

Wenn endlich die Entfernung AG der Anstoß-Scheiben (Fig. 20 und 22) bey den obern und untern Bogen-Röhren gleich gemacht wird, so bekommen auch alle liegenden Quersprossen gleiche Länge.

Was die Länge der stehenden Quersprossen, und die nöthige Schiefe ihrer Anstoß-Scheiben betrifft, so wäre es zu weitläufig, jedes einzelne berechnen zu wollen, und ich glaube, dabey am leichtesten zum Zwecke zu gelangen, wenn man diese von einem fleißig gezeichneten Plane eines Bogens nach einem verjüngten, jedoch nicht zu kleinen, Maßstab abnimmt.

35.

Jeder untere Bogen AB Fig. 15 hat an beyden Enden noch zwey Röhren e und f angeschraubt, welche nebst einem Viertel der

vorletzten in die Widerlager eingemauert sind, um die Bedingung (N^{ro}. 21) zu erfüllen.

Diese Röhren, welche nach unten dicker im Eisen als alle andern sind, stützen sich an die fest eingebauten schweren eisernen Widerlag-Platten *ab. cd*, und geben sonach den Bögen die nöthige Anstützung.

Die Endröhren *C* und *D* der obern Bögen stecken nur mit $\frac{1}{4}$ ihrer Länge in dem Mauerwerke der Widerlager, und ihre weit schwächern Widerlag-Platten *gh ik* dienen nur dazu, daß die Bögen in keinem Falle in das Mauerwerk einwühlen können.

36.

Nach N^{ro}. 6 ist unsere Bogendicke in jedem Betrachte groß genug, ohne das in N^{ro}. 4 bestimmte und zum Gleichgewichte nöthige Gesez der Schwere der aufeinander folgenden Bogentheile befolgen zu müssen. Die Röhren der Bögen könnten demnach, um so mehr alle gleich schwer gemacht werden, da die länger werdenden stehenden Quersprossen die darauf befindlichen Träger, und die Bedeckung der Brücke die Bedingung der anwachsenden Schwere hinreichend erfüllen. Allein da der Druck *R* (N^{ro}. 5) auf die Widerlager, längs der Achse der Bögen, mit deren Entfernung vom Scheitel in etwas zunimmt, so würde ich doch die Röhren der untern Bögen um etwas weniger in ihrer Eisendicke, gegen die Widerlager hin, anwachsen lassen, oder doch wenigstens die im Guß schwerer und besser ausgefallenen, da es dabey jederzeit eine Auswahl giebt, dahin verwenden.

Das so construirte, aus Röhren zusammen geschraubte eiserne Gerippe, welches die Grundlage der Brücke bildet, und hinsichtlich seiner Stärke eben so gut ist, als wenn es in einem Stück gegossen wäre, (N^{ro}. 18) indem alle Quersprossen nach denselben Grundsätzen den Bögen angefügt sind, liegt nun zwischen seinen zwey Widerlagern, die vermög ihrer Masse und Construction den in N^{ro}. 26 und 27 berechneten Widerstand leisten müssen.

Die Aufgabe für die Construction der Widerlager bey Brücken überhaupt ist, mit dem wenigsten Material den größten Widerstand zu erreichen. Ich denke mir zu diesem Ende eine Mauer, welche mehr Länge als Dicke hat; es wird also der Widerstand, welchen sie ihrer Länge nach leisten kann, um so größer seyn, je länger die Mauer bey gleicher Massa und Höhe ist, weil sie mit der anwachsenden Länge immer weniger umgeworfen werden kann, und auf ihrer Grundlage mehr Gelegenheit findet sich am Boden anzuhalten.

Dieses vorausgesetzt, bestehen meine Widerlager, ganz einfach, aus dem vordern massiven Gemäuer *FGHI*, und drey damit verbundenen Strebe-Mauern *K* (Fig. 15 und 16) wovon die zwey äußern zugleich die Wände der Strafse, ganz oder zum Theil, bilden.

Der größte Theil dieses Gemäuers kann von Bruchsteinen aufgeführt seyn; allein die äußere Bekleidung, und eine sich in das massive Mauerwerk ausbreitende gewisse Strecke hinter den Widerlag-Platten *a b* muß von gehauenen und fleißig zusammengefügt Quatern gemacht werden.

Die in N^{ro}. 27 bestehenden Bedingungen, glaube ich, durch diese Construction der Widerlager erfüllet zu haben, weil die ver-

längerten Tangenten BE (Fig. 16), zu den Endpunkten der untern Bögen, in die Grundfläche fallen, und weil ein Durchbruch der Bögen, ohne die ganze Masse der Widerlager hinweg zu schieben, nicht wohl denkbar ist.

Nur das einzige glaube ich noch erinnern zu müssen, daß der obige Grundsatz, wegen den Strebe-Mauern K , nicht zu weit ausgedehnet wird, damit sie noch eine gewisse Dicke behalten. Ich glaube es hinreichend, wenn die Mauern, bey gleicher Massa, so lange gemacht werden, daß der Punkt E der Tangente BE in die Gegend der Mitte zwischen H und M fällt.

38.

Die Straße über die Brücke, oder ihre Bedeckung, kann nun, bey der festen und jeder Zeit trozenden eisernen Grundlage, nach Willkühr, entweder auch von Eisen oder von Holz gemacht werden; allein da die, zwischen den Bögen und liegenden Quersprossen zu bedeckenden Oeffnungen wie M (Fig. 16), noch beträchtlich groß sind, so würden eiserne Platten von gewöhnlicher Dicke zur Bedeckung nicht hinreichen, und ich habe berechnet, daß, im mindesten Anschlag, 6000 Zentner Gufseisen dazu erfordert würden, welches mehr als $\frac{3}{4}$ von dem ist, was die ganze Grundlage bedarf.

Die daraus entstehende sehr beträchtliche Vermehrung der Kosten und Belastung der Brücke sowohl, als der Umstand, daß große gegossene Eisenplatten gerne springen, und man deswegen dennoch in Gefahr wäre, daß schwere Lastwagen, vorzüglich bey großer Kälte, durchbrechen, veranlassen mich zu dem Vorschlag, diese Brücken mit Holz zu decken; weil aus eben gedachten Gründen ihre Anwendbarkeit dadurch mannigfaltiger und sicherer wird.

und weil die jährlichen Reparationen schon mit einem kleinen Theil der Interessen des dadurch ersparten Capitals bestritten werden können.

39.

Nachdem bestimmt ist, welche Neigung die Auffahrt der Brücke gegen den Horizont haben soll, so werden unter diesem Winkel die Tangenten mn op zu der obern Seite der Bögen gezogen, und die Balkendicke pF parallel damit herunter getragen, welches alsdann die Höhe der Straßsen-Träger qr st etc. bestimmt.

Diese Träger, für welche an den zustimmenden obern Bogen-Röhren, welche zugleich stehende Quersprossen haben, eigne Anstöße angegossen sind, haben oben bey qs etc. viereckige Köpfe mit Schrauben-Löchern, um den darauf ruhenden eichenen Balken mPn und opF die gehörige Grundlage und Befestigung zu verschaffen.

Da die Entfernung von einem Träger zum andern nur 12 Fufs ist, so können die Balken aus Stücken von 12, 24 oder 36 Fufs Länge bestehen, auch bedürfen sie keiner besondern Dicke, da sie so oft aufliegen.

Quer über diese Balken, und von n bis o unmittelbar auf den eisernen Bögen, liegt nun die Bedeckung der Brücke mit Bohlen, welche, wo möglich, auch von Eichen-Holz seyn sollten, und mit sechs Zoll in der Dicke hinreichend stark seyn würden, da die Entfernung von einem Bogen zum andern auch nur sieben Fufs ist.

Die Beschüzung der Bedeckung, gegen das Ausnuzen durch die Fuhrwerke, ist auf zweyerley Art möglich: entweder durch

starke Bekiesung, oder durch Belegung mit Eisenplatten und schwacher Bekiesung. Die Bekiesung, wenn sie nicht so dick ist, daß kein noch so schwer beladener Wagen durchwirken kann, schadet mehr als sie nützt, weil dadurch der Kies auf dem Holze schleift und eingedrückt wird, wodurch die Bohlen mehr Schaden leiden, als wenn die Räder unmittelbar darauf liefen.

Starke Bekiesung erschwert die Brücke außerordentlich, welches zwar ihr Trag-Vermögen nicht vermindert (N^{ro}. 21), aber doch, wo möglich, vermieden werden sollte, weil dadurch der ohnehin schon so ungeheure Druck auf die Widerlager (N^{ro}. 26) und die untern Bögen längs ihrer Achse, so vermehrt wird, daß man am Ende doch eine Zerdrückung der Röhren befürchten könnte, oder man wäre genöthiget, ihren Durchmesser oder ihre Eisendicke zu vermehren; auch die Widerlager müßten in gleichem Verhältnisse stärker seyn.

Uebrigens scheint mir auch noch nicht ganz ausgemacht, daß die Bohlen unter der Bekiesung länger dauern, als wenn sie ganz frey liegen; denn sicher wird sie die fast immerwährende Feuchtigkeit, der sie dadurch ausgesetzt sind, nach und nach auch angreifen, und vielleicht, unter manchen Umständen, mehr als selbst die Wagenräder.

Ich denke demnach, die Belegung mit Eisen-Platten und leichter Bekiesung vorziehen zu müssen, und um so mehr, da solches mit gar keinen Schwierigkeiten verbunden ist, indem die Platten nur dünn seyn dürfen, weil sie mit ihrer ganzen Fläche fest auf dem Holze aufliegen, und durch den Kies der Druck schon vertheilt wird.

Einen nicht minder wesentlichen Vortheil gewährt die gänzliche Belegung der Bedeckung mit Eisenplatten dadurch, daß unter

denselben die Bohlen bethcirt werden können, und wenn überdies die Fugen der Platten, beym Aufschrauben schon, gut verkittet werden, wodurch also nur äußerst wenig, vielleicht gar keine Feuchtigkeit zum Holze kann, so muß dadurch selbst die hölzerne Bedeckung dieser Brücken eine sehr lange Dauer gewinnen.

Die, um etwas wenigcs über den Fahrweg erhabenen, Trottoirs *A* und *B* Fig. 18 können von Holz seyn, und auf den unten durchgehenden Eisen-Platten liegen, oder die Eisen-Platten des Fahrweges *cd* könnten bey *c* und *d* einen Aufbug erhalten, und sonach über die Trottoirs hinweg gehen. Lezterem würde ich den Vorzug geben, weil hiedurch alles Holz beschützt ist, und die Fußwege reinlich bleiben.

Es versteht sich von selbst, daß die Eisen-Platten für den Fahrweg, worauf nämlich die Bekiesung kömmt, auf ihrer obern Fläche gitterförmig gegossen seyn müssen, damit der Kies sich nicht verschiebt, und auf den Platten denselben Anhalt, so wie unter sich selbst, findet.

40.

Die Geländer der Brücke sollen dauerhaft, also von Eisen seyn.

Die Säulen der Geländer sind theils an den eisernen Straßen-Trägern, und theils an den Bögen selbst, aber niemals an dem Holz befestiget, damit sie stark, und zu allen Zeiten unveränderlich sind. Die Staketen sind nur ganz gerade viereckigte Stäbe.



41.

Wenn wir bedenken, daß diese Brücken dem Wind sehr wenig Fläche darbieten, weil er überall ungehindert durchstreichen kann (Fig. 15) und die Verbindung der sechs Bögen durch alle liegenden Quersprossen betrachten (Fig. 16) so wird wohl niemand irgend eine Seiten-Schwingung der Brücke befürchten; denn die Lasten wirken nur auf die Ausbeugung der Bögen in der senkrechten Ebene, und die sehr kleine Kraft in horizontaler Richtung, welche nur von den Seiten-Bewegungen der Wagen, die aber um so geringer sind, je besser die Strafe ist, herrühret, wird wohl, durch die so außerordentliche Steifigkeit der Brücke, nach der Seite aufgehoben werden.

Wenn die vielen liegenden Quer-Sprossen nicht dazu nöthig wären, um die Last, welche auf einen Bogen wirkt, seinen Nachbarn mitzutheilen, so könnte, ohne Gefahr der Seiten-Schwingungen, bey der guten Strafe, die Hälfte, vielleicht $\frac{2}{3}$ derselben erspart werden.

42.

Eis-Stöße sind allen Brücken gefährlich, wovon selbst massiv steinerne nicht ausgenommen sind: da nun, um den Scheitel der Brücke nicht zu sehr zu erhöhen, die End-Theile meiner untern Bögen *A* und *B* (Fig. 15) nur sechs Fuß über dem Mittel-Wasser sind, so müßten bey solchen Flüssen, wo bey hohem Wasser starke Eis-Stöße zu befürchten sind (auf einzelne Schollen nimmt man keine Rücksicht) entweder Eisbrechen nahe oberhalb der Brücke und gehörig breit angelegt, oder die Endtheile *A* und *B* der Bögen, bey der Erbauung der Brücke, nach Umständen höher gelegt werden.

43.

Bey dieser Construction von eisernen Brücken ist hauptsächlich darauf zu sehen, daß alle Anstofs-Scheiben der Röhren, vorzüglich aber die der Bögen, in der gehörigen Form (N^{ro}. 34) sowohl, als gerade und rein gegossen sind, damit sie sich bey der Zusammenschraubung der Bögen, nach der vorgeschriebenen Form, in ihrer ganzen Fläche gegenseitig berühren, indem hier solche Kräfte wirken, daß man auf die Anfüllung merkbarer Zwischenräume mit Keilen, Kitt u. d. gl. keine dauerhafte Rechnung machen kann.

Da es aber unmöglich seyn wird, diese Anstofs-Scheiben so rein zu gießen, daß sie sich vollkommen und in allen Punkten berühren, so wird doch nothwendig eine dünne Schichte Kitt (welche aus ungelöschtem Kalk, Leinöl und klein gehaktem Hanf besteht, und durch vielfältiges Schlagen und Beymischen von Kalk zu einem so zähen Taig gearbeitet wird, daß man nur durch Anstrengung mit dem Finger durchdringen kann) dazwischen zu legen. Dieser eingelegte Kitt wird bey dem Anziehen der Schrauben fast aller wieder herausgequetschet, und es bleibt nur soviel davon zurück, um die ganz kleinen und unvermeidlichen Unebenheiten auszufüllen; und da er, wenn er troknet, steinhart wird, so ist auch die vollkommene Berührung der Anstofs-Scheiben hergestellt.

44.

Bey der Erbauung der Widerlager für eine solche Brücke ist vorzüglich darauf zu sehen, daß die zu gleicher Zeit eingemauerten letzten Röhren, und ein Viertheil der vorletzten, von den untern Bögen, samt ihren Widerlag-Platten genau die gehörige und zu einander parallel laufende Entfernung, sowohl, als die entsprechende Neigung

zum Horizont erhalten. Man hat dabey die grösste Vorsicht und die genaueste Vermessung, mit guten Mefsapparaten, anzuwenden, weil bey dieser Anlage, welches eigentlich der Anfang zur Aufstellung der Brücke ist, jeder kleine Fehler weit grössere, bey dem Zusammenschrauben der Brücke, zur unvermeidlichen Folge haben würde, so, daß am Ende gar nichts mehr paßt, und man nach weit vorangerückter Arbeit vielleicht genöthiget wäre, alles wieder zu zerlegen und von vorne anzufangen.

Nach vollendeten Widerlagern bis an die obern Bögen, welches wenigstens ein Jahr vor der wirklichen Aufstellung der Brücke geschehen seyn sollte, damit das Mauerwerk wo nicht ganz austrocknet, doch gehörig anzieht, wird zwischen beyden eine leichte Rüstung aufgeschlagen, welche etwas breiter als die Brücke selbst ist, und deren obere mit Brettern überschallte, nach Abscissen und Ordinaten leicht zu bestimmende, Wölbung, die Form der untern Bögen, jedoch nach einem um den Halbmesser der Anstofs-Scheiben kürzern Radius, bekömmet.

Nun werden die Röhren eines Seiten-Bogens, bey jenen in die Widerlager eingemauerten angefangen, aneinander angereiht, indem man zuvor zwischen alle Anstofs-Scheiben eine daumendicke Kitt-Wurst legt, die Schrauben in die, vom Guß her schon genau zusammenpassenden, Schrauben-Löcher einsweilen nur los eingemacht, und jedes Rohr auf der Rüstung dergestalt mit hölzernen Keilen unterlegt, daß der Bogen eine etwas grössere Wölbung, als sein natürlicher Zustand ist, erhält. Dadurch werden die letzten Röhren mit ihren ringförmigen Vorstössen *ab* Fig. 11 in der Gegend des Scheitels auch ineinander schliessen, um ihre Schrauben ebenfalls los einmachen zu können. Demnächst schlägt man alle Unterlag-Keile langsam und mit der Vorsicht heraus, daß sich der ganze Bogen soviel

möglich gleichförmig niedersezt, und so wird er sich endlich, bey ganz herausgenommenen Keilen, selbst tragen (N^{ro}. 6), die überflüssige Kitt zwischen den Anstofs-Scheiben, durch seine eigene Schwere schon, grössentheils selbst herausquetschen, und entweder ganz oder beynahe seine vorgeschriebene Form annehmen, zu welcher in der vertikalen Ebne eine gerade Linie auf der Rüstung, und wegen seiner Wölbung die Rüstung selbst die Richtschnuren sind.

Was nun diesem Bogen an seiner regulären Form noch fehlt, rührt entweder von der nicht vollkommen genauen Lage der Anstofs-Scheiben, oder von dem durch den Druck, von Seiten der Schwere, noch nicht ganz ausgepressten und gleich vertheilten Kitt zwischen den Anstofs-Scheiben her. Es werden alsdann die Schrauben alle nach und nach angezogen, und indem man an diesem oder jenem Rohr, so wie es die Ausweichung des Bogens verlangt, auf einer Seite die Schrauben stärker als auf der andern anzieht, und dadurch etwas mehr Kitt auspresst, kann man dem Bogen die reguläre Form geben.

Ganz auf dieselbe Art wird der nächst gelegene Bogen, jedoch mit Einlegung der liegenden Quersprossen zwischen beyde, aufgerichtet. Hiebey ist nur noch die Vorsicht zu gebrauchen, daßs man, wenn der Bogen einmal frey steht, die Schrauben der Quersprossen vor den des Bogens, zwar nicht ganz fest, aber doch so anzieht, daßs der größte Theil der zwischenliegenden Kitt ausgepresst wird; alsdann erst wird der Bogen zusammengeschräut, und dadurch, ebenfalls wie der erste, in seine vollkommene Form gebracht, wonach alsdann die Schrauben der Quersprossen auch fest angezogen werden. Die folgenden Bögen werden auf dieselbe Art aufgerichtet.

Nachdem die untern Bögen alle aufgerichtet sind, so kann, wenn man will, die Rüstung, welche nun nichts mehr zu tragen hat,

indem die untern Bögen mit überlegten Brettern selbst das Gerüste für die obern bilden, hinweg genommen werden.

45.

Die Aufrichtung der obern Bögen wird im Scheitel der Brücke angefangen, und nach beyden Seiten gegen die Widerlager hin auf folgende Art fortgesetzt.

Bey einem der beyden äußern Bögen fängt man wiederum an, und setzt auf die Anstöße des untern Bogens, immer mit Zwischenlegung der nöthigen Kitt, die stehenden Quersprossen, welche aber einsweilen nur ganz los, kaum so daß sie nicht umfallen, aufgeschraubt werden. Nun wird in oder zunächst dem Scheitel das erste Bogenrohr aufgelegt und leicht angeschraubt; dann werden diesem seine zwey Nachbarn, einsweilen mit unterstellten Stützen, da diese keine Quersprossen haben, angefügt, und ebenfalls nur leicht, was man an den Schraubenmuttern mit der Hand ohne Schlüssel treiben kann, angeschraubt, auf diese folgen wieder zwey mit Quersprossen u. s. w.

Nachdem nun auf solche Art der obere Bogen samt seinen Quersprossen auf dem untern, aber noch ganz loker, beysammen steht, und die zum Aufstellen nöthig gewesenen Stützen wiederum herausgenommen sind, so fängt man im Scheitel wieder an, und schraubt das mittlere Bogenrohr auf seine Quersprofse, und letztere auf den untern Bogen fest. Demnächst werden die vier folgenden zu beyden Seiten zunächst angränzenden Bogen-Röhren, samt den zugehörigen zwey Quersprossen, mit dem ersten Bogen-Rohre und dem untern Bogen nach und nach fest zusammengeschraubt. Indem man auf dieselbe Art das Zusammenschrauben der zu beyden Seiten im-

mer angränzenden vier Bogen-Röhren und den dazu gehörigen zwey Quersprossen vom Scheitel gegen die beyden Widerlager hin, mit beständiger Rücksicht auf die verticale Ebne, in welcher der ganze zusammengesetzte Bogen liegen muß, und ohne die folgenden Röhren anzurühren, ehe die vorhergehenden ganz fest sind, fortsetzt, wird endlich der ganze obere Bogen samt seinen Quersprossen mit dem untern, ohne irgend einen gewaltsamen Zwang des einen oder des andern, verbunden seyn.

Alle folgenden obern Bögen werden auf dieselbe Art aufgestellt, nur daß jedesmal, wie bey den untern Bögen geschehen, auch die liegenden Quersprossen mit eingelegt, und im Fortrücken, vom Scheitel gegen die Widerlager, samt den zustimmenden Bogenröhren und stehenden Quersprossen nach und nach fest geschraubt werden.

46.

Bey dem eben beschriebenen Aufstellen und Zusammenschrauben solcher Brücken, ist die größte Vorsicht anzuwenden, daß kein gewaltsamer Zwang entsteht, und keine Unordnung einreißt. Wenn das mindeste der Art verspüret würde, so thut man besser, den ganzen dahin Bezug habenden Theil wiederum zu zerlegen, und neuerdings zusammen zu setzen, als eigensinnig fortzufahren; weil ein kleiner Fehler, durch die Fortsetzung, am Ende so groß wird, daß er mit keiner Gewalt, wenn man solche auch wirklich zum Schaden der Brücke anwenden wollte, wieder gutgemacht werden kann.

Je genauer die Anstoß-Scheiben der Röhren gegossen sind, und je vollkommener der Anfang bey den eingemauerten Endröhren der untern Bögen in die Widerlager gemacht ist, desto leichter und

geschwinder wird man bey der Zusammenstellung der Brücke durchkommen.

Die ganz kleinen und nicht zu vermeidenden Ungleichheiten der Röhren werden sich größtentheils selbst compensiren, und was noch daran fehlt, durch die sehr dünne Kitt-Schichte und geschikte Zusammenschraubung compensirt werden.

Wenn ich oben von nach und nach Zusammenschrauben rede, so verstehe ich nicht darunter, daß zuerst alle Schrauben einer Anstofs-Scheibe angezogen werden, und hernach die der nächsten u.s.w., sondern daß alle Schrauben aller in Arbeit begriffenen Röhren, erst nur mit der Hand, dann jede einen Umgang mit dem Schlüssel, hierauf wieder jede einen oder einen halben Umgang etc. was am Ende durch das Gefühl am besten zu bestimmen seyn wird, weßwegen auch der letzte Zug aller Schrauben, um sie gleichförmig fest zu machen, nur durch einen Menschen geschehen muß. Ueberhaupt sollen zum Zusammensezen und Schrauben-Anziehen durchaus gut unterrichtete Arbeiter genommen werden.

Alle Schrauben der ganzen Brücke werden beym Aufstellen nicht gleich mit aller Gewalt so fest angezogen, daß sie gar nicht mehr gehen, sondern höchstens nur so stark, was ein Mann, an einem Schrauben-Schlüssel von 18 *Zoll* Länge, mit einer Hand und stättem Zug zwingen kann. Die gänzliche Befestigung der Schrauben, mit eben dem Schlüssel und zwey Händen, geschieht erst nach einiger Zeit, wenn nämlich die Kitt schon trocken ist. Noch ist zu bemerken, daß alle Schrauben-Muttern Unterlag-Scheiben haben sollen, welche an ihrem Rand dünner als in der Mitte sind, damit sie nicht einseitig aufliegen, und sich auf dem gewöhnlich rauhen Gufseisen nicht allzu stark anreiben.

Nach so aufgestellter eiserner Grundlage der Brücke werden die Widerlager, mit Beyschließung und Einmauerung der Widerlag-Platten an die obern Bögen, vollendet, und die Brücke gedeckt, was nach dem schon Gesagten keiner weitem Erklärung mehr bedarf.

47.

Wenn eine solche Brücke, bey schnell darüber fahrenden grossen Lasten, merkbare Schwingungen in der Vertical-Ebne machte, so wäre dieses nur ein Zeichen, daß die stehenden Quersprossen gegen die Widerlager hin zu lang sind, und deßwegen in der Ebne des Bogens zuviel Elasticität haben (N^{ro}. 29). Diesem würde aber gar leicht dadurch zu begegnen seyn, wenn man den stehenden Quersprossen eiserne Streben, wie *lu vw* Fig. 15 anlegt, welche gegen den Scheitel hin immer kürzer werden, und am Ende ganz ausbleiben.


~~~~~

---

**M A T E R I A L -**  
 UND  
**K Ö S T E N - Ü B E R S C H L Ä G E**  
**E I N E R S O L C H E N B R Ü C K E .**

---

48.

Die Summe der Länge von den untern sechs Bögen ist 1968 Fufs; und da die Durchschnitts-Fläche der Röhren bey der Eisendicke von einem Zoll = 0,35 Quadrat-Fufs hat, so ist der körperliche Inhalt des daran befindlichen Gufseisens, ohne die Anstofs-Scheiben = 688,8 Cubik-Fufs. Die 660 Anstofs-Scheiben all dieser Röhren würden, wenn sie von den Röhren hinweggedacht, und mit ihren Flächen aneinander gereiht wären, ein Rohr bilden, welches zum innern Durchmesser 17 Zoll, zum äufsern 24 Zoll, und zur Länge, da jede Scheibe  $1\frac{1}{4}$  Zoll dick ist, 68,75 Fufs hat. Der körperliche Inhalt davon ist = 107,5 Cub. Fufs.

728,16

Wir haben auch an diesen Röhren 6600 Tragwinkel (N<sup>ro</sup>. 18), welches rechtwinklichte Dreyecke sind, die 6,12 Quadrat-Zoll in ihrer Fläche, und einen Zoll Dicke haben; der Inhalt von allen ist 23,4 Cub. Fufs.



Da angenommen wurde, daß die obern Bögen, und alle sowohl stehenden als liegenden Quersprossen, gleichen Durchmesser und Eisendicke haben, so beträgt die ganze Länge von allen zusammen genommen, die Vorstöße zu den Quersprossen und Straßen-Träger aller Bogen-Röhren mitgerechnet, 4821 Fufs. Der Querschnitt dieser Röhren, bey ebenfalls einem Zoll Eisendicke, ist 0,218 Quadratfufs, mithin ist ihr gesammter Inhalt 1051 Cub. Fufs.

Alle 1964 Anstofs-Scheiben dieser Röhren zusammen genommen würden ein Rohr bilden, welches im innern Durchmesser 11 Zoll, im äufsern 18 Zoll, und in der Länge 164 Fufs hat. Der Inhalt davon ist demnach - - - - - 181 Cub. Fufs.

Die an allen diesen Röhren befindlichen 15712 Trag-Winkel, welche nur  $\frac{3}{4}$  Zoll dick sind, haben einen Inhalt von - - 41,7 Cub. Fufs.

Die Eisen-Platten zur Beschüzung der Bohlen über die ganze Brücke enthalten - - - - - 688 Cub. Fufs.

Die Anstöße aller Röhren, welche in einander schliessen, haben einen Inhalt von - - - - - 31 Cub. Fufs.

Die 12 Widerlag-Platten für die untern Bögen vier Zoll dick, und drey Fufs hoch, und breit - - - - - 36 Cub. Fufs.

Endlich die 12 obern Widerlag-Platten drey Zoll dick und  $2\frac{1}{2}$  Fufs hoch und breit - - - - - 18,7 Cub. Fufs.

Diesemnach ist der körperliche Inhalt von allem Gufseisen der ganzen Brücke, samt der Belegung, 2867 Cubik-Fufs.

Nun wiegt der baierische Cubik-Fufs Gufseisen 344 Pfund, mithin die ganze Quantität - - - - - 9862  $\frac{1}{2}$  Zentner.

Eine Schraube für die untern Bögen samt ihrer Mutter und Unterlag-Scheibe,  $2\frac{1}{2}$  Zoll zwischen Kopf und Mutter lang, und 1,27 Zoll

0,23998

1154,158

3009,61

10353

2280



dick (N<sup>ro</sup>. 18) wiegt  $4\frac{1}{2}$  Pfund, und da wir 3300 derselben brauchen,  
zusammen - - - - -  $148\frac{1}{2}$  Zentner.

Eine Schraube für die kleinern Röhren wiegt  $2\frac{1}{4}$  Pfund, und 7856  
derselben - - - - -  $176\frac{3}{4}$  Zentner.

Nach N<sup>ro</sup>. 27 ist der Bedarf an Mauerwerk für die beyden Widerlager  
153902 Cubik-Fufs, wenn ein Cubik-Fufs zu einem Zentner angenom-  
men wird. Da aber dieses nur derjenige Theil des Mauerwerks ist,  
welcher hinter den Tangenten zu den Endpunkten der untern Bögen  
liegen soll, so muß wenigstens  $\frac{1}{6}$  zugegeben werden; wir brauchen  
also 179552 Cubik-Fufs Mauerwerk oder - - 831,2 Cub. Klafter.

An  $\frac{1}{4}$ zölligen eichenen Balken werden erfodert - - - 1200 Fufs.

Die an 6 Zoll Dicke eichenen Bohlen - - - 11016 Quad. Fufs.

## 49.

Rechne ich den Zentner solcher Eisengufsware zu 9 fl. 30 kr.,  
so kosten  $9862\frac{1}{2}$  Zentner - - - - - 93693 fl. 45 kr.

Den Zentner Schrauben zu 33 fl. folglich  $325\frac{1}{4}$  Zntr. 10733 - 15 -

Das Cub. Klafter Mauerwerk, inclusive aller Arbeit,  
im Durchschnitt zu 45 fl. mithin 831,2 Klafter - - 37404 - - -

Den laufenden Fufs eichene Balken, nach obigem  
Maas zu 1 fl., so kosten 1200 Fufs - - - 1200 - - -

Und den Quadrat-Fufs eichene Bohlen zu 20 kr., folg-  
lich 11016 Quadrat-Fufs - - - 3672 - - -

Endlich die beyden Brücken-Geländer zu - - - 5000 - - -

So

13 fl.



So kostet eine solche ungeheuere eiserne Brücke, ohne die Kosten der Rüstung und Zusammensetzung, welches von dem Locale und den Umständen abhängt, und defswegen nicht angegeben werden kann, nur - - - - - 151703 fl. — kr.

## 50.

Plan V Fig. 23 ist der Längen-Durchschnitt, und Fig. 24 der Grundriss einer solchen eisernen, und (N<sup>ro</sup>. 22 bis 27) berechneten, Brücke mit zwey Bögen, wovon ein jeder mit der grossen Brücke ähnliche Construction hat. Im Grundriss sieht man die Brücke nur halb mit Bohlen bedekt. Alles, was übrigens von der Construction und der Aufstellung der grossen Brücke mit einem Bogen bisher gesagt wurde, gilt auch für jeden Bogen dieser Brücke; es wäre also überflüssig mehreres dabey zu erinnern, weil man die Art der Verbindung der Bögen, auf dem mittlern Pfeiler aus Fig. 23 selbst sieht.

Die Ueberschläge dieser eben so breiten und 310 Fufs langen Brücke belaufen sich auf - - - - - 114008 fl.

Was endlich die Plane Fig. 23 und 24 von den in N<sup>ro</sup>. 22 bis 27 angenommenen und berechneten Dimensionen hin und wieder, vorzüglich aber in den Widerlagern, abweichen, geschah nur aus Versehen, und da bey Entdeckung des Versehens, der Stich der Platte schon zu weit voran gerückt war, so konnte es auch nicht mehr geändert werden. Dieser Fehler hat übrigens keinen Nachtheil, wenn sich der Leser an die in N<sup>ro</sup>. 22 bis 27 beschriebenen Dimensionen hält, oder wenn man sich die Brücke über einen Strom gedenkt, welcher von Natur hohe Ufer hat.



Von der kleinen in N<sup>ro</sup>. 23 bis 27 berechneten Brücke ist Fig. 25 der Längen-Durchschnitt und Fig. 26 der Grundriss mit der halben Bedeckung. Es ist dabey auch nichts weiter zu erinnern, als dafs, wie man aus der Zeichnung selbst sieht, dieselbe nur einfache Bögen hat.

Die Ueberschläge zu Erbauung einer solchen, 75 Fufs langen und 24 Fufs breiten, eisernen Brücke belaufen sich auf - 16178 fl.

Nach dem bisher gesagten wird es nun ein leichtes seyn, alle Berechnungen, Constructionen und Ueberschläge solcher Brücken, von was immer für Trag-Vermögen, Bogen-Weiten und Bogen-Höhen, den Locals und Bedürfnissen jedesmal anpassend, zu verfertigen; ich glaube auch nichts weiters dabey erinnern zu müssen, da ich vorausseze, dafs die Ausführung solcher Werke jederzeit Sachverständigen übertragen wird, die alle kleinere, hier unberührte, Kunstgriffe kennen, und sich in den verschiedenen Fällen selbst zu helfen wissen.

---



---

## VON DER FORMEREY DER RÖHREN ZU EISERNEN BRÜCKEN.

---

53.

Aus dem vorhergehenden ist bekannt, wie wichtig es für diesen Brücken-Baue ist, die Röhren von gutem Eisen, und, vorzüglich an ihren Anstofs-Scheiben, rein und genau in der vorgeschriebenen Form zu erhalten.

Die zu einem guten Erfolg nothwendige Erfüllung obiger Forderungen, und, bey mancher Eisen-Schmelze, der Mangel an geschickten Formern veranlaßten mich, die zweckmässigste Art der Formerey solcher Röhren zu entwerfen, und hier beyzufügen, weil auch dadurch alle Mißverständnisse zwischen den Baumeistern und Hüttenmeistern gehoben, und die Brücken nicht nur allein vorzüglich gut, sondern auch merklich wohlfeiler ausfallen werden, indem diese Formerey geschwinder und sicherer als die gewöhnliche ist.

54.

Es ist bekannt, daß das Gufseisen von verschiedenen Hochöfen gewöhnlich auch merklich verschieden ist, und daß selbst ein



und derselbe Hochofen manchmal, ohne daß man es verlangt und die eigentliche Ursache allemal anzugeben weiß, seinen Gang verändert, indem er zu verschiedenen Zeiten, nach der Hütten-Sprache, übergares, gares und ungares Eisen produciert.

Ohne mich in die chemischen Ursachen dieser Verschiedenheiten und Veränderungen einzulassen, weil dieses die Sache des Hüttenmannes ist, und hier auch ohne Nuzen seyn würde, so will ich hier nur die zu unserm Zwecke dienlichen, mechanischen Eigenschaften und äußern Kennzeichen der verschiedenen Gattungen von Gufseisen erklären.

Das übergare Gufseisen ist in seinem Bruche grobkörnig und dunkelgrau glänzend, das gare ebenfalls grobkörnig aber hellgrau glänzend, und das ungare Gufseisen hat einen weißen, und in seinem schlechtesten Zustande, einen weißen strahllichten Bruch.

Bey diesen Versuchen soll man etwas dicke, und in trockne Formen gegossene, Eisenstäbe zerbrechen; denn die zu dünn und in feuchte Sand-Formen gegossenen würden, wegen der zu schnellen Abkühlung in der Forme, den jedem Eisen eigenthümlichen Bruch nicht angeben.

Nach mehrern darüber angestellten Versuchen fand ich, daß das gare Eisen mit Beybehaltung seiner Elasticität auch immer am stärksten ist, d. i. bey gleicher Dicke das größte Zerbrechungs- und Zerreißungs-Moment hat.

Das übergare, oder mit Kohlen übersättigte Eisen fand ich immer mürber, und deßwegen auch schwächer als das gare, und das ungare Gufseisen ist zwar durchaus stärker als das übergare, dabey aber so spröde, daß es keine Stöße aushalten kann, und deß-



wegen ist es auch das schlechteste für alle Gattungen von Gufswaaren, weil es wegen Mangel an Elasticität öfters bey dem Erkalten in der Forme schon Sprünge bekömmt.

Das von verschiedenen Hochöfen producierte Gufseisen ist sowohl in seiner eigenthümlichen Elasticität als auch seiner Stärke, durch alle Gattungen, oft und sogar merklich verschieden. Es ist demnach nicht genug, ein gares Eisen zu dem Baue einer Brücke gewählt zu haben, sondern man muß sich auch soviel möglich an solche Eisen-Werke wenden, welche ein elastisches und starkes Gufseisen liefern. Die zu diesem Ende anzustellenden Versuche sind aus N<sup>ro</sup>. 7 bekannt.

Mit der Elasticität widersezt sich das Eisen, so wie alle andere Körper, den Stößen, und mit seiner Stärke den ruhig darauf wirkenden Lasten: da nun auf Brücken Stöße und Lasten zu gleicher Zeit wirken, so muß auch das dazu gewählte Eisen Stärke mit Elasticität verbinden, und es wäre bey der Auswahl des Eisens zu Brücken eben so fehlerhaft, bloß nach Stärke ohne Rücksicht auf die Elasticität, als bloß auf die Elasticität ohne Rücksicht der Stärke zu trachten. Ich bin also der Meinung, daß, bey gleich dicken und auf gleiche Art gegossenen Stäben, dasjenige Eisen zu Brücken den Vorzug haben wird, wobey das Product aus Elasticität und Stärke am größten ist. Der Ausdruck der Elasticität ist die Beugung des Stabes vor dem Bruche.

Ein übergares Gufseisen von einem Hochofen, welcher gewöhnlich gutes Eisen liefert, in einem Flammen-Ofen umgeschmolzen, hält man für das am meisten elastische und stärkste, folglich auch für das beste zu allen Gattungen von Gufswaaren. Ich erwähne dieses Vorthelles, welcher bey den Kanonen-Gießereyen für die Ma-



rine in Frankreich und England häufig angewandt wird, zuletzt, weil nicht alle Eisen-Schmelzen, und am wenigsten die deutschen, derley Vorrichtungen haben, und weil, wegen dem Umschmelzen des Eisens, der Preis der Gufswaaren nothwendig, und bey Hochöfen, welche ein theueres oder sparsames Brenn-Material beziehen, zu beträchtlich erhöht wird.

## 55.

Es giebt dreyerley Arten der Formerey, nämlich die Formerey in Leimen, in feuchten Sand, oder in getrockneten Sand, welcher aber vor dem Eingusse getrocknet werden muß.

Die Formerey in Leimen ist die langweiligste und kostspieligste, und überdiß hat sie noch den besondern Nachtheil, daß sich jede Leimen-Forme, durch das Trocknen und Brennen, so verändert, daß man, auch mit Anwendung alles Fleißes, die Gufswaaren nie so genau erhalten kann, als es zu diesem Brückenbaue nöthig ist.

Die Formerey in feuchten Sand ist zwar die geschwindeste und wohlfeilste, weil, unmittelbar nach dem Formen, in die noch feuchte Forme gegossen werden kann; allein wegen der schnellen Abkühlung in der feuchten Forme, verliert das Eisen um so mehr an Elasticität und Stärke, je dünner die Gufswaare ist; und ist die Gufswaare dick, so greift das fließende Eisen gewöhnlich stellenweise die Forme an, wodurch das Gegossene eine unreine Oberfläche erhält.

Getrocknete Sand-Formen liefern die besten und schönsten Gufswaaren, weil sie sich im Trocknen nicht verändern, dem Eisen seine eigenthümliche Elasticität und Stärke, wie die Leimen-Formen,



lassen, und von dem fließenden Eisen nicht angegriffen werden, der Guß mag auch so schwer seyn, als er immer wolle.

Beyde Sand-Formereyen unterscheiden sich nicht in der Art des Formens, sondern nur in dem angewandten Form-Sande: bey der ersten, in welche ungetroknet gegossen werden kann, muß ein feiner scharfeckigter Quarz-Sand ohne Beymischung von Thon angewendet werden; bey der zweyten aber soll der Sand auch scharfeckig, aber etwas gröber seyn, und, damit er nach dem Troknen den nöthigen Zusammenhang behält, eine Beymischung von Thon haben. Einige Versuche werden die nöthige Quantität des beyzumischenden Thones bestimmen, im Falle solcher Form-Sand nicht schon natürlich gemischt gefunden werden sollte. Zuviel Thon in der Mischung verursacht, daß das Eisen bey dem Eingießen in die Forme aufkocht, weil die Forme zu dicht ist, und die bey dem Eingießen sich entwickelnde Luft keinen andern Ausweg als durch das fließende Eisen selbst findet: ist aber zu wenig Thon in der Mischung, so hat die Forme nach dem Troknen keinen Zusammenhang, das einfließende Eisen greift die innere Fläche der Forme an, und das Gegossene wird unrein.

## 56.

Die Modelle zu den Röhren für eiserne Brücken müssen von Messing und mit allmöglicher Genauigkeit gemacht seyn. Da aber dieses eine etwas kostspielige Arbeit ist, so habe ich mich auch bey der Construction meiner Brücken bemühet, die Röhren soviel möglich gleichartig zu machen, indem für eine jede Brücke, die stehenden Quersprossen abgerechnet, höchstens nur dreyerley Gattungen von Röhren nöthig sind, nämlich eine für die untern Bögen, eine für die obern, und eine für alle liegende Quersprossen. Wie die Ver-



schiedenheit der Röhren in Bezug auf die verschiedene Lage der Anstöße für die Quersprossen mit demselben Modell bewirkt wird, kann aus dem Folgenden ersehen werden.

*Tafel III.* Fig. 3 ist die perspectivische Ansicht des auseinander gelegten Modells eines Bogenrohres mit zwey Anstößen.

$ABCD$  ist der Schaft des Rohres, welcher, wegen dem Schließ aus der Forme, bey  $AB$  um etwas wenig, ohngefähr eine halbe Linie, dicker ist als bey  $CD$ . Auf diesem Schaft-Modelle sitzen die, zum Hinwegnehmen eingerichteten, Kern-Lager-Modelle  $E$  und  $F$ .

Diese Modelle, so wie die  $STW$  und  $UVX$  für die Anstöße, sind hohl, und haben etwa nur 4 bis 5 Linien Metall-Dicke. Alles ist auf einer Drehbank schön rund und glatt äußerlich abgedreht.

Die Ringe  $GH$ ,  $IK$ , welche zu ihren Dimensionen die ganze Breite und halbe Dicke der Anstoß-Scheiben haben, und an welche zugleich die Modelle für die Tragwinkel  $abc$  etc. befestigt sind, haben die äußere Dicke des Schaftes  $AB$  zu ihrer innern Weite.

Die gleich großen andern Ringe  $LM$  und  $NO$ , welche, auf die ersten  $GH$  und  $IK$  gelegt, und mit versenkten Schrauben befestigt, die ganze Dicke der Anstoß-Scheiben ergänzen, haben zu ihrer innern Weite die äußere Dicke der Kernlager  $E$  und  $F$ : wenn also die so zusammengesetzten Modelle der Anstoß-Scheiben über das Schaft-Modell geschoben werden, so schließt ihre halbe Dicke nebst den Tragwinkeln äußerlich an dem Schaft, und ihre Oeffnungen  $Q$  und  $R$  an den Kernlagern  $E$  und  $F$  an, und indem sich die Scheiben  $LM$  und  $NO$  auf die Flächen  $dg$  auflegen, wird auch die Länge der Röhren und die nöthige Lage der Anstoß-Scheiben gegeneinander bestimmt seyn, wenn die Flächen  $dg$  die erforderliche Entfernung

von



von einander, und die darauf liegenden Theile der Ringe *LM NO* die nöthige Schiefe haben.

Zwischen jedem Tragwinkel der Ringe *GH* und *IK*, und gerade gegenüber auf den Ringen *LM* und *NO* sind die Modelle für die Kernlager zu den Schrauben-Löchern befestiget, wie bey *IK* und *LM* zu ersehen ist.

Die Ringe *LM* und *NO* müssen sowohl auf die andern Ringe *GH* und *IK*, als auch auf das Schaft-Modell mit Stellzapfen aufgedöbelt, und mit versenkten Schrauben aufgeschraubt seyn, damit sie sich bey dem Zusammenlegen des Modells und Eisenformen nicht von einander scheiden und nicht verdrehen können.

Der vorstehende Ring *ef* auf der Scheibe *LM* formt den Vorstofs, mit welchem ein jedes Rohr in das zunächst gelegene schließt; dagegen hat auch die Scheibe *NO* kein solches Vorstofs-Modell, und der Durch-Messer des Kernlagers *F* ist so groß als der äußere Durchmesser des Vorstosses *ef*; der Durchmesser des Kernlagers *E* aber um die Dicke des Ringes *ef* dünner, weil ein jedes Rohr einen Vorstofs geben und einen aufnehmen muß.

*ST* und *VU* sind die Modelle für die Anstöße zu den Quersprossen, welche bey *T* und *U* dem Schafte *AD* genau angepaßt sind, *W* und *X* sind ihre aufgedöbelte Kernlager.

Das Schaft-Modell *AD* hat in seiner Mitte vier Löcher mit eingeschnittenen Schraubenmuttern, die den Umfang des Rohres genau in vier gleiche Theile theilen, und wovon zwey gegenüberstehende in der Ebne liegen, wohin die Anstofs-Scheiben convergieren.

Die Vorstofs-Modelle *WST* und *XVU* können demnach mittels dieser Schrauben-Löcher, und der durchgehenden Schrauben



*th*, *ik* entweder einzeln, oder beyde zugleich an dem Schafte dahin befestiget werden, wo sie zur Aufnahme der liegenden oder stehenden Quersprossen dienen sollen.

Die Modelle der Anstofs-Scheiben *lm no* und *pq rs* sind ganz nach der bereits beschriebenen Art der Anstofs-Scheiben *LM GH* etc. eingerichtet, und es ist dabey nichts weiters zu erinnern, als dafs es willkührlich ist, ob man nur der einen *lm* einen Vorstofs *uv* geben will, oder beyden *lm* und *rs*, oder gar keiner. Im ersten Falle müssen die Anstofs-Scheiben der liegenden Quersprossen eben so beschaffen seyn, im zweyten dürfen sie gar keine Vorstöße, sondern nur Oeffnungen haben, um die Seiten-Vorstöße der Bogen-Röhren aufzunehmen, und im dritten Falle müssen die Quersprossen an beyden Seiten Vorstöße haben: eine der beyden letzten Arten wäre vorzuziehen, weil man dabey am wenigsten irren kann.

Bey der Verfertigung der Modelle darf nicht vergessen werden, dafs sich das Eisen beym Erkalten merklich zusammenzieht, folglich das gegossene allemal kleiner als das Modell wird; man mufs also die Modelle nach allen Dimensionen, über die Berechnung N<sup>ro</sup>. 32, verhältnismäfsig vergrößern.

Um zu dieser Vergrößerung den Mafsstab zu finden, läfst man von dem Eisenwerke, welches zur Giefsung der Röhren gewählt wurde, einen Stab von beliebiger Länge und Dicke in trocknen Sand giefsen, und vergleicht nachher die Länge des erkalteten Eisenstabes mit der Länge seines Modells.

Ich seze, die Länge des erkalteten Eisenstabes sey  $= L$

Die Differenz, um was das Modell länger als der Stab ist, sey  $= \delta$

die zu vergrößernde Dimension eines Rohr-Modells  $= n$



und die zu suchende Vergrößerung dieser Dimension sey  $\dots = x$

so ist  $L : n = \delta : x$

und  $x = \frac{n\delta}{L}$ .

## 57.

Nach der Beschreibung der nöthigen Modelle für die äußere Gestalt der Röhren komme ich nun auf die Einrichtung der Form-Flasche Fig. 1 und 2 im Durchschnitte vorgestellt.

*abcdefgh* ist ein von Eisen gegossener ohngefähr ein Zoll dicker hohler Cylinder mit den Seiten-Anstößen und Anstoß-Scheiben *ce*, *df*, *ab*, und *gh*. Auf letztere schliessen die mit Stellstefen aufgedöbelten Kapseln *ikl*, *mno*, *pqr* und *stuv*, und können durch Schrauben darauf befestiget werden.

Die Form-Flasche scheidet sich demnach überall an der vordern Fläche der Anstoß-Scheiben, und die Maase dazu sollen so viel möglich zutreffen.

Nachdem der Form-Sand gehörig gemischt und angefeuchtet ist, so wird das Schaft-Modell samt seiner untern Anstoß-Scheibe *IK NO* Fig. 3 auf die eigens hiezu bereitete hölzerne Scheibe *AB* Fig. 2 senkrecht aufgestellt, wesswegen auch das Kernlager *F*, und die kleinern für die Schraubenlöcher in dem Holze eingelassen sind. Ueber diesen aufgestellten Schaft, und concentrisch damit, stellt man die Form-Flasche *abcdefgh*, zu welchem Ende Döbel auf der Scheibe *AB* sind, welche in die Schraubenlöcher der Scheibe *gh* greifen. Hierauf werden die Modelle für die Seiten-Anstöße zu den Quersprossen nach Bedürfnis entweder nur eines oder alle beyde, durch



die Seiten-Oeffnungen der Form-Flasche hinein, an den Schaft befestiget, und einsweilen, anstatt den Kapseln *ikl* und *mno*, nur die ebenen Scheiben *xy* und *zw* vorgeschraubt, welche bey dem Einformen des Schaftes den Form-Sand zurückhalten.

Nun wird, ohne noch die Modelle *LM GH* Fig. 3, für die obere Anstofs-Scheibe, aufgelegt zu haben, der Schaft samt seinen Seiten-Anstößen fest eingeformet, wobey man die Vorsicht haben muß, daß der Sand überall gleichförmig fest wird, und daß man nicht auf die Seiten-Modelle stößt.

Ist man, durch wechselseitiges Einfüllen und Einstoßen des Formsandes, bis zur Höhe *CD* Fig. 2 gekommen, so wird das obere Anstofs-Scheiben-Modell auch aufgelegt, und auf den Schaft befestiget.

Die ringförmige Oeffnung, wovon 1 2 Fig. 2 den Durchschnitt zeigt, und welche nicht hinreichend gewesen wäre, um den ganzen Schaft gehörig fest einzuformen, wird jezt, da die Forme schon bis nach *CD* fertig ist, hinreichen, den noch fehlenden Theil unter der Anstofs-Scheibe, und um die Tragwinkel herum einzufüllen, und, mittels eigens dazu verfertigter krummer Hölzer, fest zu stoßen.

Hierauf wird der Form-Sand mit dem obern Rand der Flasche und der Anstofs-Scheibe eben gestrichen, die ringförmige Sand-Fläche mit Kohlenstaub eingestaubt, und mit Papier überdekt, damit sich der folgende Sand an diesen nicht anhängen kann, weil sich die Forme hier scheiden muß.

Nun wird die Kapsel *pqrs* aufgeschraubt, der Raum *IK* um das Kernlager *E* herum bis *qr* eingeformt und eben abgestrichen, und die ganze Forme vermittels eines guten Hebezeugs von der höl-



zernen Scheibe  $AB$  aufgehoben und umgestürzt, so daß, indem  $qr$  auf eine ebne Fläche zu stehen kömmt, der andere Theil  $gh$  der Forme in der Höhe ist, Fig. 1.

Da aber der Form-Sand um die Tragwinkel, und vorzüglich in dem Raum 3, 4, von oben herunter nicht gehörig fest gestossen werden konnte, so wird dieses, wie bey der ersten Anstofs-Scheibe, mittels krummer Hölzer nachgeholt. Alsdann wird die ringförmige Sandfläche eben abgestrichen, eingestaubt und mit Papier belegt, die Kapsel  $tuvw$  aufgeschraubt, und der Raum  $LM$  eingeformet.

Jetzt wird die Forme auf eine, der  $AB$  Fig. 2 ähnlichen, hölzerne Scheibe auf die Seite  $ce$  oder  $df$  gelegt, die ebne Platte  $zw$  losgeschraubt, der Sand unter der Anstofs-Scheibe und um die Tragwinkel herum, welcher von oben herunter nicht fest genug gestossen werden konnte, wie vorhin geschehen, nachgeformet, die ebengestrichene Sandfläche eingestaubt, und mit Papier bedeckt, und die Kapsel  $mno$  aufgeschraubt und eingeformt. Dasselbe geschieht, bey Röhren mit zwey Seiten-Anstößen, auch auf der andern Seite, nur bleibt hier die hölzerne Scheibe hinweg, weil bey dem Einformen der zweyten Kapsel  $ikl$  die Forme mit der Seite  $n$  auf eine ebne Fläche gelegt wird.

Bey Röhren endlich mit nur einem oder gar keinem Seiten-Anstofs sind vorgeschraubte ganze Platten, wie  $xy$  und  $zw$ , hinreichend, die Seiten-Oeffnungen der Form-Flasche zu bedecken, welche auch nach dem Einformen des Schaftes nicht mehr aufgemacht werden dürfen, weil, da kein Hinderniß vorhanden ist, der Sand an diesen Stellen von oben herunter fest genug gestossen werden kann.

Fig. 1 zeigt das ganz eingeformte Modell eines Rohres im Durchschnitte.



Das Herausnehmen der Modelle aus der Form geschieht auf folgende Art.

- a.* Die Form wird senkrecht so aufgestellt, daß der dickere Theil des Schaftes nach oben gekehrt ist.
- b.* Die Schrauben *th ik* Fig. 3, womit die Modelle der Seiten-Anstöße an den Schaft befestigt sind, werden ganz herausgeschraubt.
- c.* Nachdem auch die Schraube, womit das Kernlager *E* auf das Schaft-Modell befestigt ist, herausgeschraubt worden, wird die obere Kapsel *p q r s* losgeschraubt, und samt dem darin stecken bleibenden Kernlager-Modell *E* hinweg gehoben. Letzteres kann nun, da es ein wenig Schief hat, nach leisem Hin- und Wiederklopfen, aus seiner Forme herausgenommen werden.
- d.* Der Ring *LM* Fig. 3 wird nun von dem Ringe *GH* und von dem Schaft losgeschraubt, und behutsam hinweggehoben, damit die Ecken 1, 2, der Forme Fig. 2 nicht ausbrechen.
- e.* In die Schraub-Mutter am Schaft, wodurch das Kernlager *E* auf den Schaft befestigt war, wird eine Schraube, die oben einen Hacken hat, eingeschraubt, und indem man, mittels eines senkrecht ober der Forme angebrachten Zuges und dieses eingeschraubten Hackens, den Schaft langsam aus seiner Forme zieht, wird der Ring *GH*, dessen innere Weite der äußern Dicke des Schaftes gleich ist, fest auf die Forme niedergehalten; dieses ist nothwendig, damit die Ecke der Forme um die Tragwinkel herum durch die Ausziehung des Schaftes nicht ausgebrochen werden.



- f. Nun wird der Ring *G H* mit seinen Tragwinkeln in horizontaler Richtung nur leise nach allen Seiten geklopft, und behutsam herausgehoben, damit die Forme nicht ausbricht, zu welchem Ende auch den Tragwinkeln, gegen ihre unteren Spitzen zu, viel Schief gegeben werden muß.
- g. Die Forme wird hierauf ohne Erschütterung nach allen Seiten gelegt, und die übrigen Anstofs-Scheiben sowohl als die Vorstöße *S T* und *UV* Fig. 1 auf ganz ähnliche Art herausgenommen.

59.

Die Theile der Forme werden nun entweder in Trockenkammern, oder, wo diese Vorrichtung nicht ist, auf die sonst bekannte Art langsam getrocknet, vorher aber müssen die Gußlöcher *mn* und die Wind-Pfeifen *op* Fig. 6 eingeschnitten werden, welches auch durch eingelegte konische Zapfen bey dem Formen selbst schon geschehen könnte. Wenn der Form-Sand die rechte Mischung von Quarz und Thon hat, so daß er nach dem Trocknen fest genug ist, und dabey noch die nöthigen Poros übrig läßt, durch welche die, in der großen Hitze sich entwickelnde, Luft nach der Seite gehen kann, so ist das gänzliche Trocknen der Forme schon hinreichend, um einen guten und festen Guß zu erhalten. Ist aber dem Sande zuviel Thon, oder eine andere Erdart beygemischt, die in dem stark glühenden Zustande mehr Gas entbindet, als durch die Poros der Forme ausweichen kann, so ist das simple Trocknen der Forme nicht hinreichend, sondern alle ihre Theile müssen nach dem Trocknen und Ausschlichten (mit einer Mischung von Asche, Kohlenstaub und Milch) auch ein wenig ausgebrannt seyn. Da nun dieses wenige Ausbrennen keine großen Schwierigkeiten hat, weil es nur mit Flam-





men-Feuer von kleinem Holze geschieht, so wäre es an Orten, wo man von der Güte des Sandes nicht immer ganz versichert ist, rathsam, alle Formen vor dem Gusse auszuflammen.

## 60.

Ich komme nun auf die Formerey der Kern, durch welche den Röhren ihre Höhlungen gegeben werden.

Die Kern müssen von Leimen geformt seyn: da sich aber, wie schon erinnert, das Eisen bey dem Erkalten nach allen Dimensionen zusammenzieht, also auch die Höhlungen der Röhren enger werden, so müssen die Kern die Eigenschaft haben, daß sie durch eine Kraft von Aussen etwas wenigens zusammengedrückt werden können, aufserdem alle Röhren bey dem Erkalten in der Forme schon zerplazen müßten. Man bedient sich zu dieser Absicht gewöhnlich eines Leimens, welcher durch eine beträchtliche Beymischung von Acheln oder Pferdmist locker gemacht wird, indem beym Brennen diese beygemischten Theile größtentheils verschwinden, und einen schwammenartigen Körper zurücklassen.

Da es aber langweilig und kostspielig wäre, die Kern ganz von Leimen zu machen, so wurde folgende bessere Methode erdacht, dessen man sich vorzüglich auf den englischen Eisenhütten durchaus bedient.

Man gießt eiserne Röhren *ABCD*, *EF* Fig. 4, welche die geeigneten Längen haben, aber durchaus etwas dünner sind, als die Höhlungen werden sollen. Diese Kern-Röhren sind auf ihrer ganzen Oberfläche mit einer Menge durchgehender Löcher, und an beyden Enden mit ihren, durch eingienietete Kreuze wohl befestigten, Axen



Axen  $gh$  versehen. Auf diesen Axen und den Gestellen  $ABCD$  Fig. 7 und 8 (welches in England eiserne Wägen sind, um vorzüglich die schweren Kern bequem überall hinbringen zu können) werden die Kern äußerlich abgedreht.

Die Formbretter  $EF$ , welche an ihrer vordern Kante  $abcde$  nach den verlangten Höhlungen ausgeschnitten und mit Eisenschinen beschlagen sind, werden, so wie es die Dicke der Kern verlangt, in gehörigem Abstände von den Axen  $g$  und  $h$  auf die Gestelle  $ABCD$  befestiget. Es bleibt also zwischen dem eingelegten Kernrohre und der Kante  $abcde$  des Formbrettes  $EF$  der Raum übrig, um welchen die Kern-Röhren dünner als die verlangten Höhlungen gemacht wurden, welches bey Röhren, die über acht Zoll weit sind, einen Zoll, bey engern aber auch weniger betragen kann. Nun werden Seile von weichem Stroh und Heu gemischt gesponnen, womit die Kern-Röhren in ihren Lagern, und während ihrer Umdrehung an den Kurbeln  $hk$ , so überwickelt werden, daß die obere Fläche der Stroh-Seile überall nur einige Linien von der vordern Kante  $abcde$  des Formbrettes absteht; da aber die Stroh-Seile niemals so glatt gemacht werden können, so werden die hervorstehenden Halme nach der Aufwicklung hinweggeschnitten, so daß keiner das Formbrett ganz berührt.

Der Leimen, womit diese Stroh-Decke, um den Kern zu bilden, überstrichen wird, soll vorher durch Acheln oder Pferdmist locker gemacht, und damit er auch bey dem Trocknen wenige Sprünge bekömmt, mager, d. i., soviel als es sein nöthiger Zusammenhang nach dem Trocknen erlaubt, mit Quarz-Sande gemischt seyn.

Indem man nun erst, mit etwas dünnerm Leimen, welcher in die Zwischenräume des Strohes eindringt, und stellenweise bis zur



Berührung des Kernrohres kömmt, (zu welchem Ende auch das Stroh-Seil nicht zu dicht nebeneinander gewickelt seyn darf,) die Stroh-Decke derb überstreicht, alsdann dickern Leimen aufträgt, bis er auf der ganzen Oberfläche das Form-Brett berühret, und durch beständiges Umdrehen und Einnetzen eine gleiche Oberfläche bewirkt, so wird der Kern seine vorgeschriebene Form erhalten.

Die so gefertigten Kern werden nun gut getrocknet, überschlichtet, und nur soviel gebrannt, als zur Verkohlung der Acheln und des Stroh-Seils nöthig ist; denn das sich beym Eingufs allenfalls entwickelnde Gas kann durch die Poren der dünnen Leimen-Schichten, und durch die Löcher im Kernrohr genugsam entweichen.

Fig. 5 stellet einen ganzen Kern für ein Rohr mit zwey Seiten-Anstößen im Durchschnitte vor.

An den Stellen *GH* und *IK*, wo der Hauptkern seine Auflager hat, sollen die Stroh-Seile noch weitschichtiger gewickelt seyn, damit hier der Leimen mit dem Kernrohr in grössere Berührung kömmt, um dadurch der Schwere des Kerns und nachher dem noch grössern hydrostatischen Drucke des fließenden Eisens widerstehen zu können.

Die Kern für die Seiten-Anstöße erhalten für die eine Seite *E* Fig. 5 ihr Auflager in ihren durch *W* und *X* Fig. 3 geformten Kern-Lager, für das Auflager der andern Seite *f* aber sind in dem grossen Kern-Rohr Oeffnungen angebracht, und die äussere Leimen-Schale wird zur Aufnahme der Seiten-Kern nach dem Trocknen gehörig eingeschnitten.



Fig. 6 zeigt eine zusammengesetzte und zum Guß bereitete Forme eines Rohres mit zwey Seiten - Anstößen im Durchschnitte. Nebst dem eingelegten grossen Kern *AA* für die Höhle des Schaftes, und den Kern *BB* für die Seiten-Anstöße sieht man auch hier einige der eingelegten kleinen Kern *abcdefgh* zu den Schrauben-Löchern durch die Anstofs-Scheiben. Das Dunkelste in dieser Figur ist der leere Raum zwischen dem Kern und der Forme, welcher durch den Guß mit Eisen angefüllet wird: *mn* sind die Gußlöcher und *op* die Wind-Pfeifen, die aber bey dem Guß selbst durch kleine Aufsätze in etwas erhöht werden müssen, damit sie nicht, ehe die Form voll ist, überlaufen.

In der Voraussetzung, daß das Geschäft der Formerey und Gießung der Röhren zu Brücken immer durch Leute betrieben wird, die der Sache ohnehin schon kundig sind, und um nicht zu weitläufig zu werden, übergehe ich eine Menge Kleinigkeiten, deren Befolgung sowohl bey der Formerey als dem Gießen selbst zur Erhaltung einer guten Gußwaare unumgänglich nöthig sind, und begnüge mich damit, bloß das Nöthigste dieser Art zu Formen angeführt zu haben.

---

Gedruckt mit Michael Lindauerschen Schriften.

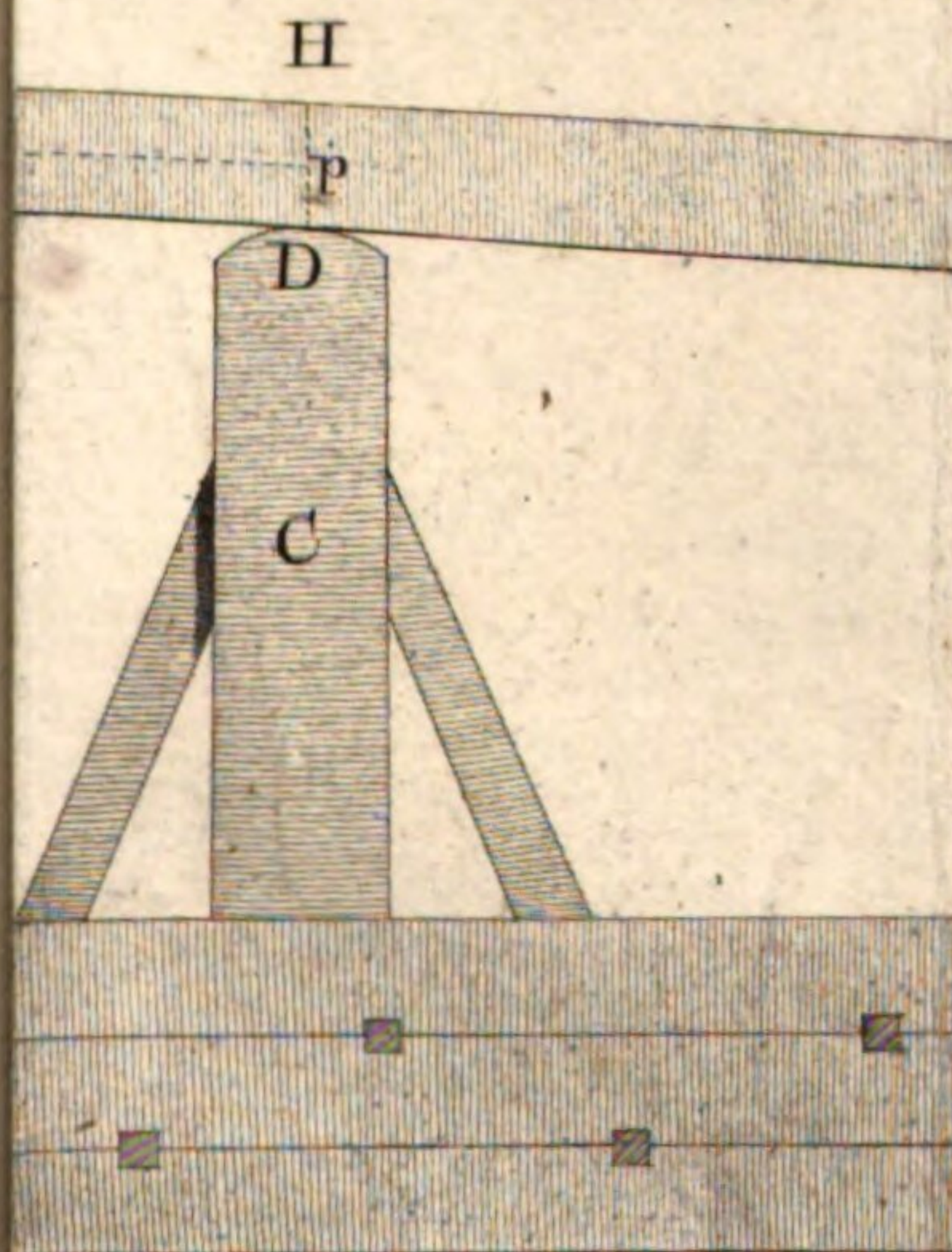
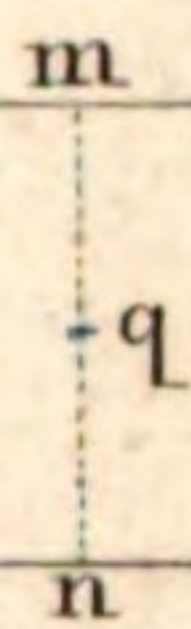
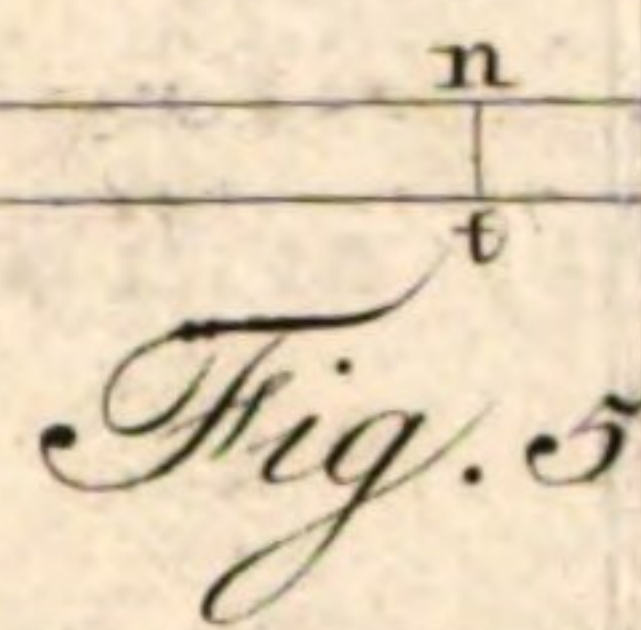
---

Bayerische  
Staatsbibliothek  
München







































Reichenbach, Georg <<von>>,

Theorie der Brücken-Bögen und Vorschläge zu eisernen Brücken in jeder  
beliebigen Grösse mit fünf Kupfern

München 1811

BHS IV 177

urn:nbn:de:bvb:12-bsb10708542-0